



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
(UNAN-Managua)**



**Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos
de Nicaragua (CIRA-UNAN)**

MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL AGUA

Trabajo de Tesis
para optar al grado de
Master en Ciencias del Agua

**Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega
para el Manejo de la Explotación del Campo de
Pozos Llano Grande y Santa Clara.**

Autora: Ing. Juana Ruiz Mendieta
Director: MSc. Martha Espinoza Ruiz
Asesores: MSc. David Bethune
MSc. Heyddy Calderón

*Patrocinado por la Red Centroamericana para el Manejo de los
Recursos Hídricos (Red CARA)*

Managua, Junio del 2005

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
(UNAN-Managua)**

**Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de
Nicaragua (CIRA-UNAN)**

MAESTRIA EN CIENCIAS DEL AGUA

Trabajo de Tesis
para optar al grado de
Master en Ciencias del Agua

**Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega
para el Manejo de la Explotación del Campo de
Pozos Llano Grande y Santa Clara.**

Autora: Ing. Juana Ruiz Mendieta
Directora: MSc. Martha Espinoza Ruiz
Asesores: MSc. David Bethune
MSc. Heyddy Calderón

*Patrocinado por la Red Centroamericana para el Manejo de los
Recursos Hídricos (Red CARA)*

Managua, Junio del 2005



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
(UNAN-Managua)**
**Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
(CIRA-UNAN)**



Programa de Maestría en Ciencias del Agua

**ACTA DE DEFENSA DE TESIS DE GRADO
No. 6**

Acta de Defensa de Tesis de Maestría de la **Ing. Juana del Carmen Ruiz Mendieta**.

Los suscritos integrantes del Tribunal Examinador, nombrados por la Comisión del Programa de Maestría en Ciencias del Agua, reunidos en el aula de Maestría del CIRA/UNAN, en la Ciudad de Managua, República de Nicaragua, a los 17 días del mes de Junio del año dos mil cinco, de acuerdo con lo establecido por la ley No. 89 (Ley de Autonomía de las Instituciones de Educación Superior), y lo establecido en el Título VI del Reglamento de Educación Continua y Estudios de Postgrado de la UNAN-Managua, se organizaron:

Tribunal de Tesis:

MSc. Reyna Hernández Calero	Maestría en Recursos Hídricos (UNICIEMA)	Presidente
MSc. Lener Sequeira Gómez	Maestría en GeoTecnología (CIGEO)	Secretario
MSc. Sergio Vado Alvarez	Maestría en Agua y Saneamiento (PNUD)	Vocal

Con el objeto de evaluar en acto de defensa la tesis titulada “ **Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara**”, presentada por la alumna Juana del Carmen Ruiz Mendieta, carnet Número 01-28199-1.

La Ing. Ruiz, realizó la presentación y defensa del tema, contestando las preguntas formuladas por los miembros del tribunal presente, quienes le otorgan la calificación de 89 (Aprobada por unanimidad), con lo cual se dan por concluido los requisitos para que la alumna Juana del Carmen Ruiz Mendieta, opte al Título de Maestro en Ciencias del Agua.

Leída que fue la presente acta, la encontramos conforme, ratificamos y firmamos en la Ciudad de Managua, República de Nicaragua a los Diecisiete días del Mes de Junio del Año 2005.



**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
(UNAN-Managua)**
**Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
(CIRA-UNAN)**



Programa de Maestría en Ciencias del Agua

Primero léase las recomendaciones en la siguiente página.

Firman:

MSc. Reyna de los Ángeles Hernández Calero
Presidente

MSc. Lener Sequeira Gómez
Secretario

MSc. Sergio Vado Alvarez
Vocal

Ing. Juana Ruiz Mendieta
Estudiante

Ante mí

Dra. Katherine Vammen
Coordinadora
Maestría en Ciencias del Agua



Pensamiento

Solo el amor acendrado a la verdad, nos hace merecedores del respeto que el prestigio de nuestra profesión y la sociedad reclaman. Seremos veraces.

Anónimo

Dedicatoria

A mi hijo Luis Demetrio.

Agradecimientos

Sinceramente agradezco a Martha Espinoza por su dirección en la realización de este trabajo de tesis, a Heyddy Calderón por su tiempo y paciencia en asesorarme en la modelación numérica, a David Bethune por su asesoría en hidrogeología y en modelación numérica, y por su apoyo incondicional al cual le estoy eternamente agradecida. Por la revisión del documento y sus sugerencias al ing. Róger Mejía y Marisa Espinosa.

Muchas gracias a María Luisa Talavera por su paciencia con mi carácter, por el tiempo que compartimos en las giras de campo y los intercambios de conocimiento relacionados con la realización de esta tesis.

Les agradezco a mis colegas y amigas Zeneyda Rizo, Magdalena Pérez, Angélica Muñoz, Marisa Espinosa, Mayra Altamirano, Yelba Flores, Martha Espinoza, Angélica Calderón y otros, por sus palabras de aliento y apoyo en los momentos más difíciles estuvieron presentes.

Muchas gracias a la coordinación de la maestría por haberme permitido participar en este proyecto, al personal docente del CIRA-UNAN, por los conocimientos adquiridos en el transcurso de la maestría y los que de una u otra forma tuvieron participación en la realización de este trabajo.

Mi gratitud a los docentes de las Universidades de Calgary, Waterloo y Costa Rica que estuvieron con nosotros compartiendo sus conocimientos; al gobierno y pueblo de Canadá por el financiamiento otorgado a este proyecto de maestrías de la Red CARA.

A las direcciones de Meteorología, Hidrológica y Ordenamiento Territorial (área Suelos) del INETER por la valiosa información suministrada para la realización de este trabajo. Muchas gracias a Ramón Dávila por su paciencia en las consultas de ArcView, a Mafalda Castro por la revisión del documento.

Muy agradecida al ing. Jacques Van Campenhout de la GKW por su apoyo en el suministro de la información del área de Jinotega, a la Empresa Aguadora de Jinotega por su valiosa información, especialmente a la parte técnica.

Muy especialmente le agradezco a mi hijo Luis Demetrio por su paciencia y comprensión por el tiempo que no le di.

INDICE GENERAL

I.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Ubicación del Área de Estudio	3
1.2 Antecedentes	7
1.3 Planteamiento del Problema	9
1.4 Justificación	10
1.5 Objetivos del Estudio	11
1.5.1 Objetivo General	11
1.5.2 Objetivos Específicos	11
II.- MARCO TEÓRICO	12
2.1 Geología	12
2.1.1 Geología Histórica	12
2.1.2 Geomorfología Regional	14
2.1.3 Geología Regional	15
2.1.3.1 Grupo Coyol	16
2.1.3.2 Depósitos volcánicos Cuaternario	16
2.1.3.3 Depósitos aluviales recientes Cuaternario	17
2.1.4 Geofísica	17
2.2 Hidrometeorología	19
2.2.1 Precipitación	20
2.2.2 Temperatura	22
2.2.3 Humedad Relativa	23
2.2.4 Duración de Brillo Solar	23
2.2.5 Frecuencia y Velocidad del Viento	23
2.2.6 Clima	24
2.3 Suelos	24
2.3.1 Tipo de Suelos	24
2.3.2 Uso actual del Suelo	27
2.4 Producción Aguas Subterráneas	29
2.4.1 Manantiales	29
2.4.2 Pozos	30
2.5 Modelo Numérico	32

III.- DISEÑO METODOLÓGICO	34
3.1 Etapa Preliminar	36
3.2 Etapa de Investigación de Campo	36
3.3 Análisis de Datos	37
3.3.1 Hidrogeología	38
3.3.1.1 Parámetros Hidráulicos del Acuífero	38
3.3.1.2 Medición de Niveles de Agua en los Pozos	40
3.3.1.3 Pruebas de Infiltración	41
3.3.1.4 Recarga Potencial	41
3.3.2 Agua Superficial	42
3.3.2.1 Aforos	42
3.4 Etapa del Diseño del Modelo	43
3.4.1 Calibración y Verificación	43
3.4.2 Análisis de Sensibilidad	43
3.4.3 Predicción	44
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1 Geología Local	45
4.1.1 Complejo Volcánico Jinotega	46
4.1.2 Litoestratigrafía Local	46
4.1.3 Relieve	48
4.1.4 Tectónica	48
4.2 Hidrogeología	52
4.2.1 Unidades Hidrogeológicas	52
4.2.2 Parámetros Hidráulicos del Acuífero	54
4.2.3 Balance Hídrico	56
4.2.3.1 Precipitación Efectiva	58
4.2.3.2 Evapotranspiración	61
4.2.3.3 Infiltración	62
4.2.3.4 Contenido de Humedad del Suelo	69
4.2.4 Recarga	70
4.2.4.1 Recarga Potencial	71
4.2.4.2 Recarga de Retorno	72
4.2.4.3 Recarga Total	73
4.2.5 Extracciones de Agua Subterránea	74
4.2.6 Niveles y Movimiento del Agua Subterránea	77
4.2.6.1 Líneas Equipotenciales y Dirección de Flujo	77
4.2.7 Relación Agua Subterránea y Agua Superficial	80
4.2.8 Modelo Conceptual de Flujo.	80
4.3 Modelo Numérico	84
4.3.1 Diseño del Modelo	84
4.3.2 Dominio del Modelo	85
4.3.3 Capas del Modelo	86
4.3.4 Condiciones de Frontera	87
4.3.5 Zonas de Recarga	89
4.3.6 Parámetros Hidráulicos	90

4.3.6.1 Coeficiente de Almacenamiento	91
4.3.6.2 Conductividad Hidráulica	91
4.3.7 Bombeo de Pozos (Extracciones del Acuífero)	92
4.3.8 Confiabilidad de los Datos	92
4.3.9 Calibración del Modelo	93
4.3.9.1 Condición Natural (Estado Estacionario)	94
4.3.9.2 Condición de Bombeo (Estado Estacionario)	102
4.3.10 Análisis de Sensibilidad	106
4.3.11 Predicción de Escenarios	113
4.3.11.1 Aumento de los Caudales de los Pozos	113
4.3.11.2 Condición Aumento de Número de Pozo	116
4.3.12 Limitaciones del Modelo	119
 V.- ESTRATEGIA PARA EL MANEJO DE LA EXPLOTACIÓN DEL CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE Y SANTA CLARA	 121
5.1 Agua Subterránea	121
5.1.1 Explotación del Campo de Pozos	121
5.1.2 Monitoreo de las Aguas Subterráneas	124
5.1.3 Ampliar las Zonas de Protección	124
5.2 Agua Superficial	126
 VI. CONCLUSIONES	 128
 VII. RECOMENDACIONES	 131
 VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	 133

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1- Litoestratigrafía Regional	17
Tabla 2.2- Comparación de la Producción de Manantiales.	30
Tabla 2.3- Comparación de la Producción de Pozos de Abastecimiento de Agua Potable.	31
Tabla 4.1- Parámetros Hidráulicos de las Microcuencas Jinotega y Santa Clara.	55
Tabla 4.2a- Valores de Capacidad de Infiltración (fc) e Índice de infiltración (Pi)	59
Tabla 4.2b- Valores de Precipitación Efectiva (mm)	60
Tabla 4.3- Valores de Evapotranspiración Promedios (1970-2001)	62
Tabla 4.4- Valores de fc Obtenidos de las Pruebas de Infiltración	64
Tabla 4.5- Valores de Capacidad de Campo, Punto de Marchites, Densidad Aparente y Profundidad Radicular	69
Tabla 4.7- Recarga Total del Acuífero	73
Tabla 4.8- Producción de Aguas Subterráneas (Marzo 2004)	76
Tabla 4.9a- Características Físicas del Cauce del Río Jinotega.	88
Tabla 4.9b- Características Físicas del Cauce de la Quebrada Santa Clara	88
Tabla 4.10- Confiabilidad de los Datos de Entrada al Modelo Numérico.	93
Tabla 4.11- Valores de Conductividad Hidráulica para la Calibración del Modelo	95
Tabla 4.12- Valores de la Recarga Calibrada por Zonas.	96
Tabla 4.13-Comparación de Niveles Observados y Calculados en Condición Natural.	98
Tabla 4.14- Balance de Masa de los Caudales de Entrada y Salida. Condición Natural	101
Tabla 4.15- Comparación de Niveles Observados y Calculados. Condición de Bombeo.	103

Tabla 4.16- Balance de Masa del Acuífero. Condición de Bombeo.	105
Tabla 4.17- Valores de Comparación de la Recarga.	107
Tabla 4.18- Valores de Comparación de la Conductividad Hidráulica Mínima y Máxima.	109
Tabla 4.19- Resultados del Análisis de Sensibilidad	112
Tabla 4.20- Balance de Masas de la recarga mínima.	112
Tabla 4.21- Caudal de Extracción Máximo.	114
Tabla 4.22- Balance de Masas para la Condición de Caudal de Extracción Máximo Incluyendo al Pozo AC-4.	117
Tabla 4.23- Caudal de Extracción Máximo Incluyendo al Pozo AC-4.	118
Tabla 4.24- Comparación de los Errores Obtenidos de la Predicción de Escenarios.	119
Tabla 5.1- Caudal Mínimo Teórico Simulado.	122
Tabla 5.2- Proyecciones de Producción 2005 – 2015.	123

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1a- Ubicación Regional del Área de Estudio.	4
Figura 1.1b- Área de Estudio.	6
Figura 2.1- Mapa de Centro América Mostrando la Tectónica Regional.(Tomado de Donnelly y otros, 1990)	13
Figura 2.2- Mapa de Ubicación de Perfiles Sísmicos.	19
Figura 2.3- Mapa Tipo de Suelo.	26
Figura 2.4- Mapa Uso Actual del Suelo.	28
Figura 4.1- Mapa Geológico del Área de Estudio.	50
Figura 4. 2- Mapa del Relieve del Área de Estudio.	51
Figura 4.3a- Perfil Hidrogeológico Longitudinal Microcuenca Santa Clara.	53
Figura 4.3b- Perfil Hidrogeológico Longitudinal Microcuenca Jinotega - Llano Grande.	54
Figura 4.4- Comparación de Caudales del Sistema de Drenaje.	56
Figura 4.5- Relación Niveles del Lago Apanás y Precipitaciones.	57
Figura 4.6- Mapa de Zonificación y Puntos de Pruebas de Infiltración.	65
Figura 4.7 Prueba de Infiltración	66
Figura 4.8-Mapa de Inventario de Pozos del Área de Estudio.	75
Figura 4.9- Mapa Isofreáticas y Dirección de Flujo.	79
Figura 4.10- Modelo Conceptual del Acuífero Jinotega.	83
Figura 4.11- Dominio del Modelo y Distribución de la Malla en el Área de Estudio.	85
Figura 4.12- Capas del Acuífero para el Modelo Matemático	86
Figura 4.13- Condiciones de Frontera del Modelo.	89
Figura 4.14-Zonas de Recarga Preferencial del Acuífero. Datos Iniciales de Entrada al Modelo.	90

Figura 4.15- Distribución de la Conductividad Hidráulica del Acuífero. Datos Iniciales de Entrada al Modelo.	92
Figura 4.16- Conductividad Hidráulica Obtenida de la Calibración del Modelo.	95
Figura 4.17- Valores de Calibración de la Recarga por Zonas.	96
Figura 4.18- Comparación Superficie Freática Observada y Calculada. 2002.	97
Figura 4.19- Superficie de Equipotenciales y Vectores de Velocidad.	104
Figura 4.20a- Simulación Recarga Mínima	108
Figura 4.20b- Simulación Recarga Máxima.	108
Figura 4.21a- Conductividad Mínima	110
Figura 4.21b- Conductividad Máxima.	110
Figura 4.22- Condición Aumento de Caudales.	115
Figura 4.23- Condición Aumento de Pozo.	116
Figura 5.1- Zonas de Captura del Campo de Pozos Santa Clara.	125

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1- Precipitación Media (1952 – 2001). Estación Jinotega 55 020.	21
Gráfico 2.2- Temperatura Media (1970 – 2001). Estación Jinotega 55 020.	22
Gráfica 4.1- Relación Carga hidráulica Calculada contra Observada. Condición Natural.	100
Gráfico 4.2- Balance de Masas de los Caudales de Entrada y Salida.	102
Gráfica 4.3- Relación Carga Hidráulica Calculada contra Observada. Condición de Bombeo.	103
Gráfico 4.4- Balance de Masas del Acuífero. Condición Bombeo.	106
Gráfico 4.5a- Simulación Recarga Mínima	108
Gráfico 4.5b- Simulación Recarga Máxima	108
Gráfica 4.6a- Conductividad Mínima.	111
Gráfica 4.6b- Conductividad Máxima.	111
Gráfico 4.7- Caudal de Extracción Máximo.	115

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A

Tabla A-1.- Datos Hidrometeorológicos - Precipitación

Gráfico A-1.-Precipitación Total Anual (1954–2001) – Estación Jinotega 55 020

Tabla A-2.- Temperatura Media

Tabla A-3.- Humedad Relativa

Gráfico A-2.- Humedad Relativa Media (%) – Estación Jinotega 55 020

Tabla A-4.- Duración de Brillo Solar

Tabla A-5.- Velocidad del Viento

Gráfico A-3.- Velocidad del Viento (1990-2001)- Estación Jinotega 55 020

ANEXO B

Figura B-1.- Perfil Hidrogeológico Longitudinal – Campo de Pozos

Llano Grande

Figura B-2.- Perfil Hidrogeológico Transversal – Campo de Pozos

Llano Grande – Santa Clara

Figura B-3.- Perfil Hidrogeológico Transversal – Campo de Pozos

Llano Grande – Santa Clara

Figura B-4.- Perfil Hidrogeológico Transversal - Ciudad Jinotega

Figura B-5.- Perfil Hidrogeológico Transversal. Zona Alta Microcuenca Jinotega (Llano La Tejera).

Figura B-6.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Llano Grande

Figura B-7.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Llano Grande

Figura B-8.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Llano Grande

Figura B-9.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Llano Grande

Figura B-10.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Santa Clara

Figura B-11.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Santa Clara

Figura B-12.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Santa Clara

Figura B-13.- Perfil Sísmico Transversal - Campo de Pozos Santa Clara

ANEXO C

Tablas C-1 al C-9 .-Monitoreo de Niveles del Agua Subterránea Llano Grande y Santa Clara (2002)

Tabla C-10.- Inventario de Pozos y Monitoreo de Niveles – Microcuenca Jinotega (2002).

Tabla C-11.- Registro de Niveles del Lago Apanás

Tabla C-12.- Aforo del río Jinotega (08-09-2002).

Tabla C-13.- Aforo de la Quebrada Santa Clara (21-08-2002).

Tabla C-14.- Textura y Propiedades del Suelo.

Tabla C-15.- Pruebas de Infiltración según Método Porchet

Tabla C-16.- Balance Hídrico de Suelo – Microcuenca Jinotega - Zona 1.

Tabla C-17.- Balance Hídrico de Suelo – Microcuenca Jinotega - Zona 2.

Tabla C-18.- Balance Hídrico de Suelo – Microcuenca Jinotega - Zona 3.

Tabla C-19.- Balance Hídrico de Suelo – Microcuenca Santa Clara - Zona 1.

Tabla C-20.- Balance Hídrico de Suelo – Microcuenca Santa Clara - Zona 2.

Figura C-1.- Análisis de Prueba de Bombeo del Pozo AC-1 Santa Clara –
Método Cooper - Jacob

Figura C-2.- Análisis de Prueba de Bombeo del Pozo AC-2 Santa Clara –
Método Cooper - Jacob

Figura C-3.- Análisis de Prueba de Bombeo del Pozo AC-3 Santa Clara –
Método Cooper - Jacob

Figura C-4.- Análisis de Prueba de Bombeo del Pozo AP-10 Llano Grande –
Método Cooper - Jacob

Figura C-5.- Análisis de Prueba de Bombeo del Pozo AP-8 Llano Grande –
Método Cooper - Jacob

Figura C-6.- Análisis de Prueba de Bombeo del Pozo AP-6 Llano Grande –
Método Cooper - Jacob

Abreviaciones

INETER	Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales
INEC	Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos
INAA	Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados
ENACAL	Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados
UTM	Universal Transversal Mercator
Msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
Km	Kilómetros
m/s	Metros por Segundo
m	Metros
mm	Milímetros
°C	Grados Celsius
ha	Hectárea
m ³ /d	Metros Cúbicos por Día
fc	Capacidad de Infiltración
ČGS	Servicio Geológico Checo
S	Coeficiente de Almacenamiento
PM	Punto de Marchites
CC	Capacidad de Campo
N	Norte
O	Oeste
E	Este
S	Sur
NO	Noroeste
NE	Noreste
SO	Suroeste
SE	Sureste

Juana Ruiz Mendieta

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

Mayo del 2005.

RESUMEN

El área de estudio con 50 km² de extensión se encuentra ubicada en la parte alta de la cuenca 69 denominada Cuenca de los Lagos, entre las coordenadas UTM-606200-613000 E y 1441650-1454500 N. El objetivo general de este estudio proponer un sistema de manejo del rendimiento sostenible del campo de pozos Llano Grande y Santa Clara, en el valle de Apanás, usando un modelo numérico. Esta zona ha sido muy poco estudiada por lo que se contaba con poca información, para tal fin se realizó el estudio hidrogeológico previo al modelaje numérico para determinar el modelo conceptual del acuífero.

El acuífero se encuentra ubicado en el Complejo Volcánico de Jinotega, las unidades hidroestratigráficas las comprenden los sedimentos Cuaternarios con diferente granulometría como arcillas, limo, arena fina a gruesa, bolones. Los espesor de los sedimentos oscila entre 50 a 77 m. Las rocas del Terciario Inferior litológicamente tienen una composición de aglomerados, andesitas basálticas e ignimbritas dacíticas, un grado de fracturamiento alto, siendo éste el de mayor importancia. Para efectos del modelo numérico, fue posible asumir el basamento hasta 120 m de profundidad, debido a que los registros de las descripciones litológicas de los pozos son hasta esa profundidad, las que reportan como roca fracturada.

Los parámetros hidráulicos analizados fueron transmisividad con un promedio 224 m²/día para Llano Grande y para Santa Clara de 1,451 m²/día, conductividad hidráulica para Llano Grande 3.5 m/día y para Santa Clara de 12.6 m/día y el coeficiente de almacenamiento de $2.5 \cdot 10^{-4}$ a $4.7 \cdot 10^{-4}$, indicando que el acuífero es semiconfinado.

Por medio del balance hídrico de suelo se determinó el potencial de explotación del recurso hídrico subterráneo del cual resulta la recarga total del acuífero de 5.74 MMC/año y una producción actual de 1.8 MMC/año, teniendo un potencial disponible de 3.94%.

El recurso hídrico superficial esta constituido por el Lago Apanás, Quebrada Santa Clara y río Jinotega que hace mas de un año las aguas negras sin tratamiento de la ciudad de Jinotega drenaban hacia él, transportándolas hacia el Lago Apanás.

Para el modelaje del acuífero Jinotega se utilizó el programa Visual ModFlow, el que fue simulado en estado estacionario por no contar con datos históricos, la calibración del modelo se realizó para dos condiciones diferentes, en estado natural y en condición actual de bombeo. El análisis de sensibilidad dio como resultado que tanto la conductividad hidráulica como la recarga son sensibles a los cambios. Se determinó que a la disminución de la recarga hay inversión del gradiente hidráulico, lo cual sería beneficioso para el acuífero siempre y cuando la calidad del agua del Lago Apanás se mantenga en óptimas condiciones, de lo contrario podría contaminar el acuífero.

La implementación del modelo matemático como herramienta de estudio ha permitido conocer el comportamiento del agua subterránea, para establecer el caudal máximo de explotación del acuífero. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que para el período seco los niveles del agua subterránea bajan considerablemente, lo que ocasiona inversión del gradiente hidráulico. Para garantizar el rendimiento sostenible del campo de pozos se redujo 20% de los caudales máximos obtenidos del estudio, tomando en consideración el error o incertidumbre hidrogeológico, el caudal a extraer es de $6,530.4 \text{ m}^3/\text{día}$ lo que equivale a 2.38 MMC/año.

I.- INTRODUCCIÓN

La República de Nicaragua tiene una extensión territorial de 130,682 km² (INETER, 1995) y su población estimada y proyectada para el año 2005 es de 5,483,447 habitantes (INEC, 2005).

La tendencia de la población hacia la urbanización ha llevado a una saturación de los servicios esenciales en las ciudades y al debilitamiento de la capacidad productiva en el campo, entre otras. Además la ubicación dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico lo hace propenso a sismos, erupciones volcánicas y maremotos. A su vez los cambios climáticos y la vecindad con el Caribe, provocan tanto sequías como tormentas tropicales y huracanes que pueden ocasionar los deslizamientos e inundaciones, manifestaciones naturales que han producido graves secuelas en las condiciones de vida y salud de la población. Esto se refleja en la situación sanitaria del país (Espinoza, 1999).

Nicaragua, se divide en dos vertientes hidrográficas principales: I) La Vertiente del Atlántico y II) La Vertiente del Pacífico. La distribución de los recursos hídricos es irregular en Nicaragua, pues la mayoría de las cuencas drenan hacia el Atlántico, (Figura 1.1a). La Cuenca de los Lagos, drena al Océano Atlántico y posee una extensión de 29,824 km². Dentro de esta cuenca se encuentra la subcuenca de Apanás, con un área de 526 km², la cual drena hacia el Lago Cocibolca, pasando por el Lago Xolotlán, y continúa hacia el Océano Atlántico a través del río San Juan.

En la subcuenca del Lago Apanás, se asientan varios poblados entre ellos Llano La Cruz, Santa Clara, Llano Grande, la ciudad de Jinotega, siendo ésta una de las ciudades más importantes del norte del país. Jinotega está ubicada en el Departamento de Jinotega, la cual tiene una población proyectada total de 87,871 habitantes (INEC, 2005). El Departamento de Jinotega está formado por ocho

municipios: Jinotega, Cuá - Bocay, La Concordia, San Rafael del Norte, San Sebastián de Yalí, Santa María de Pantasma y Wiwilí. El 58.12% (51,073 habitantes) de la población está concentrada en la zona urbana de Jinotega localizada al sur del Lago Apanás, en una superficie llana. La población rural es de 36,798 habitantes correspondiente al 41.88%, según estimaciones y proyecciones para el año 2005 correspondiente al último censo poblacional (INEC, 1995).

La principal actividad económica de la población es la agricultura, ganadería, procesamiento industrial del café, industria hidroeléctrica y turismo en pequeña magnitud. La industria del café, ubicada en la parte alta de la cuenca del Lago Apanás, representa la principal fuente de contaminación de los cuerpos de agua, seguido del mal manejo de los sistemas de riego de hortalizas a la orilla del Lago, que indirectamente drenan hacia los cuerpos de agua, sumado al remanente de residuos de efluentes, que quedaron antes de la construcción del sistema de alcantarillado sanitario actual y de los que aun están fuera del sistema. Al 2004 se estimaba que un 86.82% de la ciudad no tenía alcantarillado sanitario y un 13.18% tenía conexiones sanitarias domiciliarias, la que a su vez depositaba en sus cauces a cielo abierto y descargando en el Río Jinotega y finalmente en el Lago Apanás.

El agua extraída del acuífero Jinotega es para uso potable, al 2004, la ciudad de Jinotega, contaba con una cobertura de agua potable del 67%, siendo un 42% de ésta extraída de pozos y 15% de los manantiales: Los Papales, Cerro Aventino. Actualmente, el agua subterránea, sigue constituyendo la única fuente de suministro de agua potable para la población urbana y parte rural del municipio de Jinotega. La disponibilidad del recurso agua es baja debido al medio geológico, por lo que se requiere determinar con urgencia el rendimiento seguro del acuífero, según Fetter (1988), es la existencia natural de aguas subterráneas que pueden ser extraídas de un acuífero en forma sostenida, económica y legalmente, sin

perjudicar la calidad natural del agua subterránea o crear un efecto indeseable, dañando el medio ambiente.

El presente estudio del Acuífero Jinotega constituye un punto inicial para la explotación, manejo y protección del agua subterránea de manera racional y sostenible. Este trabajo comprende la utilización de técnicas de hidrogeología física, modelación matemática, entre otras, con el propósito de estimar el rendimiento sostenible y proponer estrategias de manejo y protección del campo de pozos Llano Grande y Santa Clara en el Valle de Apanás.

1.1 Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en la cuenca de Los Lagos, entre las coordenadas 13° 02' 22" – 13° 09' 25" Latitud Norte y 85° 57' 29" – 86° 01' 15" Longitud Oeste. Las coordenadas Universal Transversa Mercator (UTM) son 1441650 – 1454500 Norte y 606200 - 613000 Oeste (Figuras 1.1a y 1.1b) y tiene una extensión de 50 Km². La Cuenca de Los Lagos, contiene la mayoría de los departamentos de la Región del Pacífico y los de la Región Central del país; así como parte de la provincia Guanacaste, Costa Rica.

La ciudad de Jinotega se encuentra a 168 km de la ciudad de Managua, presenta elevados relieves que son parte de la cordillera Isabelia (1,004 msnm) y sus estribaciones. El valle de Jinotega, se abre hacia el norte en amplia planicie del San Gabriel, que comprende además, el valle de Apanás, inundado y convertido en lago artificial por el embalse del río Tuma. Orográficamente, Jinotega, presenta altas montañas, cerros, colinas, valles y altiplanos, y topografía accidentada.

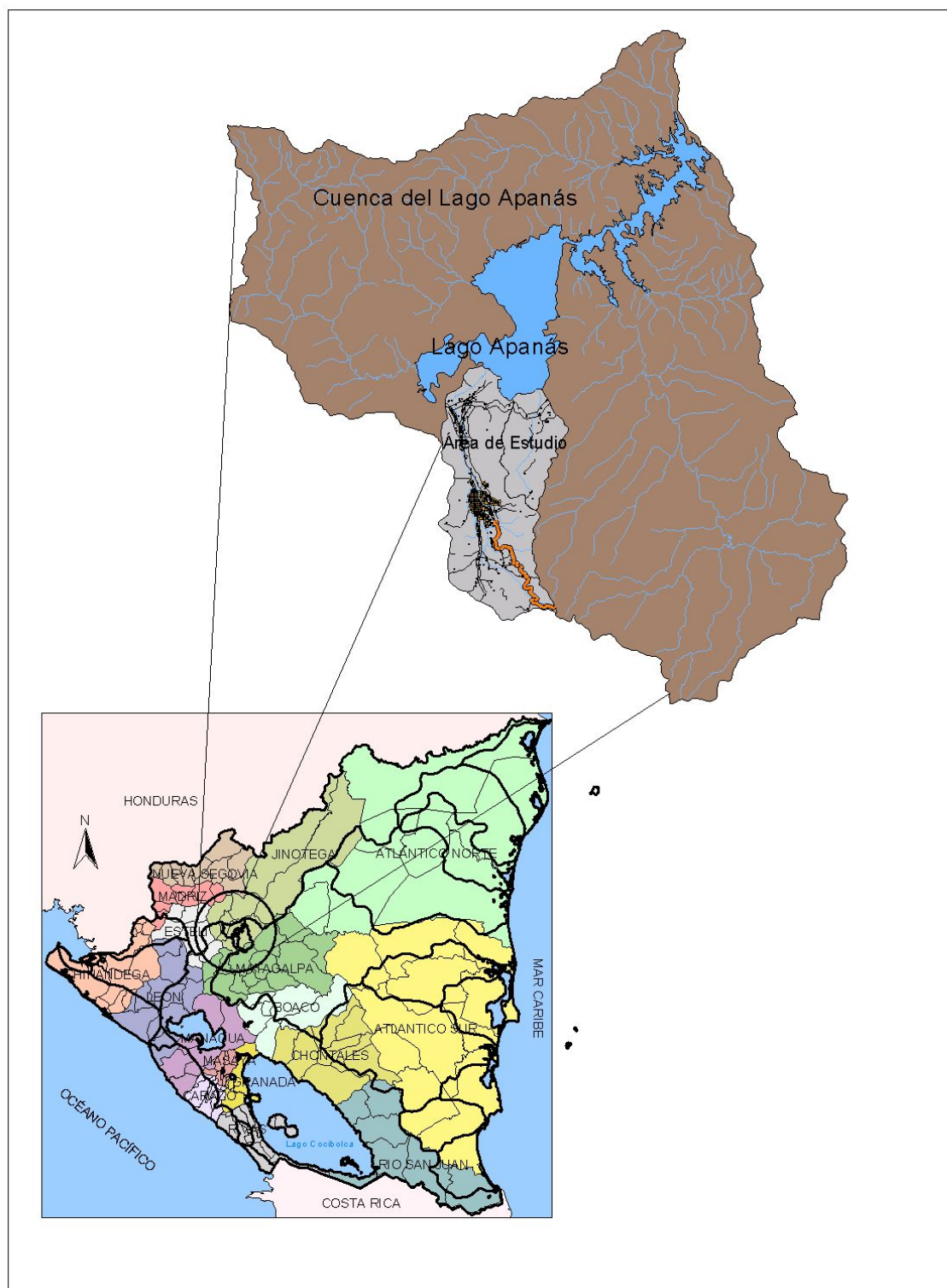


Figura 1.1a.- Ubicación Regional del Área de Estudio.

El área en estudio está situada en la Provincia de clima húmedo, donde durante el año se observan dos períodos diferentes, una estación lluviosa (mayo a octubre), con un promedio de 985.4 mm equivalente al 81.4% de las lluvias de todo el año y una estación lluviosa-seca (noviembre a abril) con lluvias parcialmente definidas 225.6 mm equivalentes al 18.6%. El clima del área, de acuerdo con la clasificación climática de Koeppen, que considera un balance entre precipitación media anual, corresponde al tipo Tropical Húmedo.

Durante las dos últimas semanas de agosto y las dos primeras semanas de septiembre hay un período muy bajo de precipitaciones, conocido localmente como “canícula”, siendo la temperatura media mensual de 20.7°C, la temperatura máxima anual de 23.8°C y la mínima de 17.5°C.

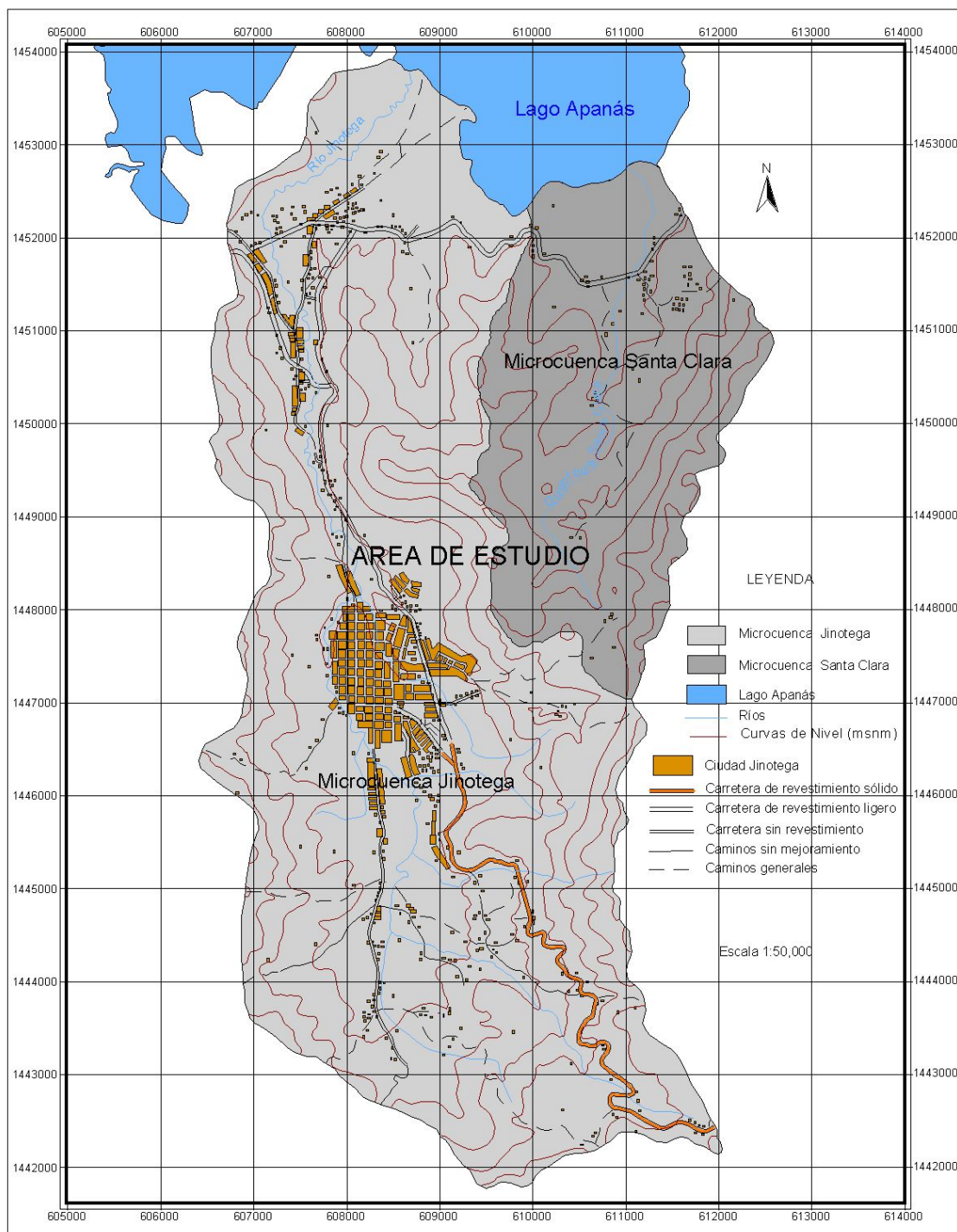


Figura 1.1b.- Área de Estudio.

Por: J. Ruiz, 2002.

1.2 Antecedentes

La ciudad de Jinotega fue fundada el 25 de enero del año 1883, en un área aproximada a 880 km². El abastecimiento de agua era solo por medio de ríos. En el año 1890, se incrementa el cultivo del café en la parte alta de la cuenca. En 1950, se construye el acueducto de la ciudad con el aprovechamiento de aguas del sistema de manantiales Los Papales que consiste de dos galerías de infiltración (Palmeria y Galeria) y la represa del río Ducualí (GKW,1998).

El área referenciada, ha sido estudiada para la construcción del Embalse del Lago Apanás, como el área de mayor almacenamiento de agua superficial de la zona. La Construcción del embalse de Apanás en 1964, generó cambios en la cuenca, como el cambio de uso de la tierra, introducción de especies acuáticas, drenaje de aguas pluviales, inmigración de población, introducción nuevos cultivos como nuevas variedades de café (arábigo y caturro), entre otras. Con el incremento poblacional las necesidades de agua potable eran más importantes, construyéndose en 1959 un pozo para el hospital Aranjuez, y en 1967 otro para la Ciudad de Jinotega. (www.manfut.org).

Para cubrir el déficit de abasto, por el incremento de la población, durante el año 1971 al año 1975, se construyeron 10 pozos muy dispersos en toda la Ciudad, luego en el sector de Llano La Cruz de Apanás se construyeron 5 pozos más entre el año 1981 y 1983 y 3 en la periferia de la Ciudad, las capacidades de producción de éstos pozos oscilaban entre 15 y 150 gpm, de poca duración.

En la década de 1980, se realizan cambios sociales con la Revolución Popular Sandinista y reformas en el sector agrario con la implementación de la Ley de Reforma Agraria. La guerra generó una inmigración muy considerada del campo hacia la ciudad. En 1988, la cuenca fue afectada por el fenómeno natural Huracán

Juana, lo que provocó grandes deterioros, aumentando las zonas descubiertas despales, erosión y mal drenaje de suelos, empobrecimiento de los cuerpos de agua superficial, y un acelerado deterioro de la calidad de vida de la población (Marena,1995).

Durante los años 1992 y 1993, el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), ente encargado de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, en ese entonces, construyó nueve pozos exploratorios, iniciando por el Barrio La Cruz de Apanás, hasta el sector La Conchita en la costa del lago, con producciones desde 5 a 90 gpm con descensos que superaba la profundidad de los pozos (50 y 65 m)

En 1998, se realiza el Estudio de Impacto Ambiental (GKW, 998), para el proyecto “Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario para la ciudad de Jinotega”, contiene un programa de gestión ambiental de la cuenca con el objetivo de minimizar o mitigar los efectos negativos de las posibles fuentes de contaminación, sumando la recomendación de un plan de manejo de los cuerpos de agua y su rendimiento sustentable a largo plazo. Esta misma empresa, realizó estudios a detalle en la costa del lago en los sectores de Santa Clara y Llano Grande, concluyendo, que era necesario construir tres pozos más en el área, tomando como base la exploración geofísica y las características hidráulicas de un pozo exploratorio de la zona de Santa Clara. Se determinó que los sedimentos Cuaternarios tenían espesores máximos entre 62 y 77 metros y las rocas tenían alto grado de fracturamiento.

Algunos pozos exploratorios, fueron afectados por las inundaciones provocadas por el Huracán Mitch (1998), ya que fueron perforados en la llanura de inundación del Lago Apanás, no logrando recuperar parte de ellos, así como parte del área destinada a la exploración del acuífero, permitiendo la definición de nuevas áreas.

En el año 2000, La Empresa Nicaragüense de Acueductos y alcantarillados (ENACAL) termina de construir los tres pozos en el sector de Los Comalitos, Santa Clara. Sin embargo, este campo de pozos, entra a funcionar hasta julio del año 2002, manteniendo un período de pruebas prolongado, para determinar el caudal apropiado que mantenga la calidad del agua a niveles permisibles para el consumo humano. Al entrar a funcionar este campo de pozos, todos los pozos que abastecían de agua a la ciudad salieron de operación, por su bajo rendimiento y cierto grado de contaminación de aguas residuales provenientes del río Jinotega (Aguadora de Jinotega, 2002). A inicios del año 2003, se perfora el cuarto pozo en Santa Clara, con el fin de terminar de cubrir la demanda total de agua para la ciudad de Jinotega, este pozo todavía no esta incorporado al sistema.

1.3 Planteamiento del Problema

La urbanización no plantificada, la producción industrial del café, la deficiente utilización del agua para la agricultura y el mal manejo del embalse de Apanás, están ejerciendo gran presión sobre los recursos hídricos. Las consecuencias más notorias y mensurables son el agotamiento y la pérdida de fuentes potenciales de agua para consumo humano, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, y la incidencia de patologías relacionadas con el agua como las enfermedades diarreicas agudas, cólera, parasitosis, enfermedades dérmicas y otras.

Sobre la base de trabajos realizados por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillado Sanitarios (ENACAL, 1992) y del estudio de la GKW, consultores (1998), se estima que las aguas subterráneas en toda el área en estudio, no presentan la cantidad y calidad deseada para el consumo humano. Existe la hipótesis que al explotar el acuífero en el sector de Santa Clara y Llano Grande,

éste sufre una inversión de gradiente hidráulico, esto se debe al medio geológico que no favorece la disponibilidad del agua subterránea, por consiguiente se succionaría agua del lago Apanás, posiblemente en condiciones indeseables para el consumo humano; debido a que es un receptor de la mezcla de las aguas de los Ríos Jigüina, San Gabriel, Mancotal, Sisle, La Cimarrona, Los Pedernales (los cuales reciben aguas mieles del proceso industrial del café) y de los ríos Jinotega que era el receptor de las aguas negras de la ciudad y San Gabriel el que recepciona las aguas negras de San Rafael del Norte.

1.4.- Justificación

De lo expuesto anteriormente, el presente trabajo permitirá conocer la hidrodinámica del acuífero Jinotega y proponer las principales estrategias para lograr un mejor manejo de explotación de los pozos, es decir incrementar su aprovechamiento y garantizar su disponibilidad en cantidad. Los principales beneficiados de este estudio serán las poblaciones a la que se destina el agua potable, la Ciudad de Jinotega y sus alrededores

1.5 Objetivos del Estudio

1.5.1 Objetivo General

Proponer un plan de aprovechamiento, manejo y protección del campo de pozos Llano Grande y Santa Clara en el Valle de Apanás.

1.5.2 Objetivos Específicos

- a) Conocer las condiciones hidrogeológicas de las aguas subterráneas del área de estudio.
- b) Determinar el rendimiento sostenible del campo de pozos Llano Grande y Santa Clara.
- c) Proponer estrategias para el manejo de la explotación del campo de pozos.

II.- MARCO TEÓRICO

2.1.- Geología

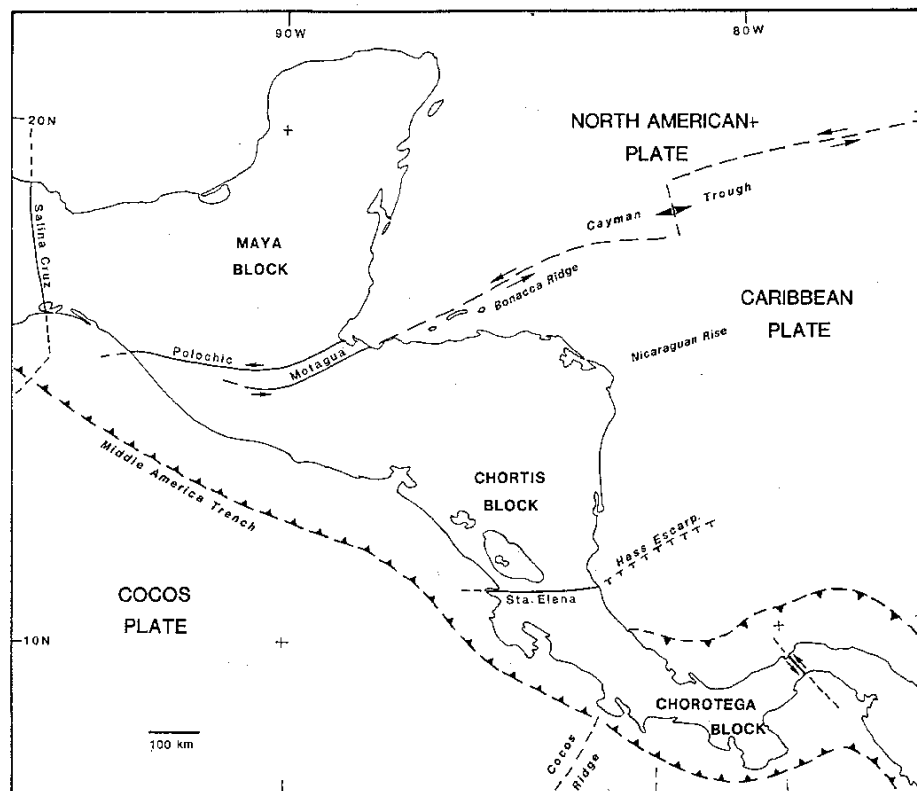
En este capítulo se presenta el resultado del levantamiento geológico realizado por el Dr. Puchman (GKW,1996) a las zonas bajas de las microcuencas del río Jinotega y la quebrada Santa Clara donde se encuentra el campos de pozos que abastece de agua a la ciudad de Jinotega.

2.1.1.- Geología Histórica

Centro América esta dividida en dos Provincias llamadas Centro América Septentrional (norte) y Centro América Meridional (sur). Se cree que ambas estuvieron separadas hasta el Mioceno Medio por el canal Mediterráneo del Caribe. El movimiento relativo de estos bloques sugieren la presencia de fallas de desplazamiento horizontal. Este movimiento ha creado patrones de esfuerzos de diferentes intensidades en cada bloque. Esto explica las deformaciones ocurridas en Centro América durante el Terciario Superior y el Cuaternario. Estas Provincias se diferencian tomando como base la distribución de las rocas anteriores al vulcanismo Terciario dado que éste fue común a ambas.

La región de Centro América Septentrional se divide en los bloques Maya y Chortis (Figura 2.1). El límite entre los dos bloques es la zona de fracturas Polochic-Motagua que sigue el curso del río del mismo nombre al este y centro de Guatemala, aunque su extensión hacia el este fue cubierta por el vulcanismo Terciario ocurrido en esta parte del país. El bloque Maya incluye la zona de fracturas de Motagua al norte de Guatemala, Belice, la Península de Yucatán y el

Oeste de México hasta el Istmo de Tehuantepec. El bloque Chortis comprende el Sur de Guatemala, El Salvador, Honduras, la parte norte de Nicaragua y la placa oceánica al noreste de éste país (Figura 2.1). Ambos bloques son terrenos exóticos de origen incierto, pero se supone que el bloque Maya está relacionado al origen del Golfo de México y el bloque Chortis parece haberse derivado de la costa del Pacífico de México. Sin embargo, las evidencias litológicas y estratigráficas de su localización original no han tenido mucho éxito (Donnelly y otros, 1990).



**Figura 2.1.- Mapa de Centro América mostrando la tectónica regional.
(Tomado de Donnelly y otros, 1990)**

Según Horne y otros (1990), el bloque Chortis está claramente definido en el noroeste por la zona fracturada del Motagua y en el suroeste por la trinchera mesoamericana fronteriza con la Placa Cocos (Figura 2.1). El límite sur del basamento Chortis fue cubierto por el vulcanismo Cenozoico, pero probablemente

se extiende hasta cerca de la península de Santa Elena en la parte Norte septentrional de Costa Rica y el Escarpe de Hess ubicado en el sureste de Nicaragua y que juntos se interpretan como una fractura de corteza (de Boer, 1979; Dengo, 1985). La margen este del bloque Chortis es complicada porque no está separada de la placa oceánica Atlántica continental por alguna discontinuidad definida. Datos geofísicos indican que la placa noroeste oceánica de Nicaragua es reciente y delgada (Edgar y otros, 1971) de origen indeterminado y de alguna manera ligada a la corteza continental del bloque Chortis (Arden, 1975).

El bloque Chortis ha sido tectónicamente muy activo desde el Cretácico Temprano y puede dividirse en diferentes regiones morfológicas: Sierras del norte, Región montañosa central, Embaymen Este, Placas del sur y Cadena volcánica del Pacífico. Mann y otros (1990) definen cuatro placas rígidas en el Caribe y Centro América: Norte América, Sur América, Caribe y Cocos (Figura 2.1). Los estudios geológicos y sísmicos indican que la Placa Caribe tiene un movimiento relativo hacia el este de las Américas y que es controlado por el fallamiento lateral izquierdo en su frontera norte continental. La litosfera oceánica de las placas de Norte América y Sur América se consume a lo largo del eje este de la Placa Caribe en la zona de subducción de las Antillas Menores y también se consume litosfera oceánica de la Placa Cocos a lo largo del eje oeste en la zona de subducción de América Central.

2.1.2. Geomorfología Regional

En su mayoría esta representada por un relieve montañoso muy variado y en menor grado por mesetas inclinadas y cúpulas. Sin embargo, existen muchos valles intramontanos que completan las características geomorfológicas de la Región Central.

El área de estudio pertenece a las **Tierras Altas del Interior**, la cual está ubicada en el centro de Nicaragua y topográficamente son las zonas más elevadas del país. Tiene un relieve montañoso y accidentado que varía de 500 a 2000 msnm como resultado de un sistema de fracturas complejas y densas, cubren un área de 42,400 km² equivalente al 33 % de la superficie total del territorio nacional. Las características topográficas predominantes son cordilleras mesas, serranías, terrenos montañosos quebrados, con pendientes que oscilan de 10 a 85 % o más.

El sistema de drenaje superficial está constituido principalmente por patrones rectangulares y angulares, en menor cantidad dendrítico. Para los relieves volcánicos de forma cónica la red de drenaje es de tipo radial.

2.1.3.- Geología Regional

La existencia de rocas volcánicas intercaladas en los sedimentos cretácicos de la Formación Rivas y subyacente a sedimentos Terciarios del área central de Nicaragua, indican que las actividades volcánicas habían comenzado desde el Cretáceo Superior. Sin embargo, su mayor desarrollo se originó entre el Oligoceno y el Pleistoceno tanto en América Central Septentrional como en la Meridional, cubriendo todo el área central de Nicaragua. Esta actividad bloqueó el canal interoceánico y originó el puente terrestre entre América del Norte y del Sur. El gran volumen de rocas volcánicas depositadas durante este período fue agrupada en tres grandes formaciones: Pre-Matagalpa, Matagalpa y Coyol. La Formación Coyol está relacionada con la Orogénesis Carcaviana, mientras que las Formaciones Matagalpa y Pre-Matagalpa con la Orogénesis Laramídica.

La región norte-central está formada por rocas volcánicas cuya edad se asigna desde Mioceno hasta Oligoceno. Este rango de edad fue confirmado por perforaciones profundas localizadas sobre todo, en el área de la Planta

Geotérmica de Momotombo (OLADE, 1981; CECI.,1975-1978); rocas de edad similar y en muchos aspectos de análoga composición, forman el basamento de los actuales volcanes.

Durante el final del Mioceno, compresiones regionales causadas por un empuje de la Placa Cocos contra la Placa Caribe, en subducción en esa época originó la formación de un anticlinal en la parte frontal occidental del área continental. La compresión originó tensiones en la cresta del anticlinal y a su vez un sistema de fallas o fisuras paralelas a lo largo de la cresta o parte central del geoanticlinal. A través de estas fisuras, hubo grandes erupciones de ignimbritas y piroclastos ocupando actualmente gran parte del borde Este de la Depresión y áreas del Pacífico.

2.1.3.1- Grupo Coyol (Mioceno – Plioceno)

Se encuentra ampliamente expuesto en la margen este de la depresión de Nicaragua el cual ha sido dividido en dos **Grupos Coyol Superior (Plioceno)** y **Coyol Inferior (Mioceno)**. Los cuales a su vez se dividen en unidades Las Maderas, Santa Lucia y La Libertad, dominado por depósitos de facies lávicas andesíticas, aglomerados, ignimbritas de composición andesítica.

2.1.3.2- Depósitos volcánicos Cuaternario (Plio – Pleistoceno)

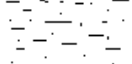

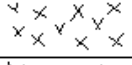
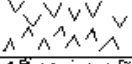
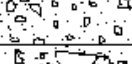
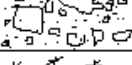
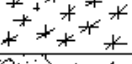
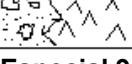
Se encuentran localizados en el límite entre las mesas relativamente planas de las Tierras Altas del Interior. Teniendo así estas áreas cráteres y calderas colapsadas, compuesto principalmente por lavas basálticas y aglomerados. El Cuaternario

volcánico se ha estudiado poco, por tanto la información es muy reducida y dispersa.

2.1.3.3.- Depósitos aluviales recientes Cuaternario (Holoceno)

Son suelos aluviales arcillo arenosos de color rojo amarillo de poco espesor y arcillosos negros (sonsocuiste) los que son localizados a orillas del lago Apanás.

Tabla 2.1.- Litoestratigrafía Regional

ERA	PERIODO	EPOCA	GRUPO O FORMACION	LITOLOGIA	ESPESOR (m)	DESCRIPCION
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO	Holoceno	Aluvional reciente Qal		+/- 5	Arcillo arenoso : rojo amarillo grava de los rios
		Pleistoceno Superior	Suelo residual Qc		+/- 10	Arcilloso coluvial modular rojizo, roca meteorizada
	T E R C I A R I O	Plioceno	Coyol Superior Tpci		150	Ignimbritas y tobas
			Coyol Superior Tpcb		100 - 400	Basalto y Andesita
			Coyol Superior Tpca		100	Aglomerado
		Mioceno	Coyol Inferior Tmcd (Ag)		500 - 800	Brecha y Aglomerado
			Coyol Inferior Tmcd (A)			Ignimbrita Andesita
			Coyol Inferior Tmcag		400 - 700	Aglomerado y/o Andesita

Fuente: Estudio Hidrogeológico. Informe Especial 9 (GKW, 1998).

2.1.4 Geofísica

Con el fin de determinar el espesor de los materiales aluviales para la mejor ubicación de pozos la extracción de aguas subterránea, en el año 1997 se efectuó un estudio geofísico utilizando el método de refracción sísmica en la ribera sur del Lago Apanás, (GKW, 1997). Ver en Anexo B perfiles geofísicos. La sumatoria de

los perfiles aproximadamente fue de 19.1m (Ver Figura 2.2), realizando pequeñas detonaciones que se registraron con un equipo moderno de 24 canales. En base al tiempo recorrido de ondas de compresión se elaboraron modelos de velocidad del suelo dependientes de profundidad, a estos se hizo una correlación con la geología en base a valores conocidos, diseños geológicos y comparaciones de perforaciones. Para el área de investigación se presento una estructura de tres estratos o capas. En base a las velocidades de expansión y la comparación con perforaciones existentes se pueden interpretar de la siguiente manera:

La primera capa con velocidades de 400 m/s hasta 1400m/s y con espesores de 1 – 6 m, se trata de un estrato mas o menos seco. La línea de separación con la segunda capa es borrosa.

La segunda capa varia mucho en espesor entre 1 – 70 m, la velocidad de 1600 m/s hasta 1700 m/s casi es constante. Esta velocidad es típica para sedimentos acuíferos, pero también para materiales pegajosos o roca compacta con mucha erosión.

La tercera capa se puede calificar en su mayoría como roca compacta por sus velocidades de ondas de compresión entre 2000 y 3800 m/s. La morfología de los límites es irregular.

Los espesores máximos de sedimentos determinadas para la zona de Llano Grande fue de 62 m y para la zona de Santa Clara fue de 77 m. (ver Anexo B). Por medio de la sísmica se pueden descubrir y localizar viejos valles fluviales que se llenaron con sedimentos, los que parecen muy homogéneos, así que no se pueden dar datos sobre la porción de capas acuíferas dentro de los sedimentos, habría que utilizar otros métodos de investigación. La Figura 2.2, muestra la

ubicación de los perfiles de refracción sísmica trazados en Llano Grande y Santa Clara.

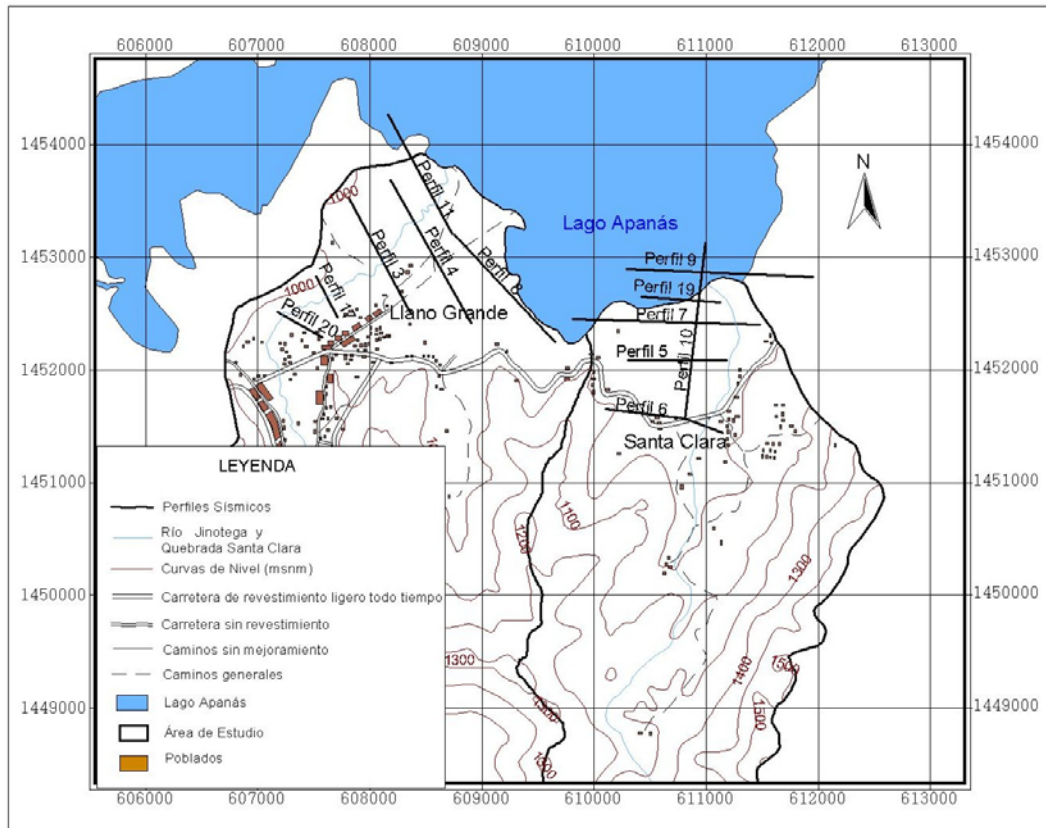


Figura 2.2.- Mapa de Ubicación de Perfiles Sísmicos.

Por: J. Ruiz, 2002.

2.2. Hidrometeorología

Los datos meteorológicos de precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación de tanque, brillo solar y viento, fueron obtenidos a través del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Se analizaron los datos mensuales correspondientes al período de los años 1970 - 2001. Estos datos corresponden a la estación principal Jinotega (55 020), ubicada en las coordenadas latitud 13° 05' 06" N y longitud 85° 59' 48" W, a una altura de 1032 msnm, instalada en el año 1951. (Anexo A).

2.2.1 Precipitación

Por su posición geográfica el régimen de precipitación es influenciado por los flujos de aire húmedo del NE y E provenientes del Océano Atlántico. Estos flujos de aire húmedo, ocasionalmente logran penetrar muy adentro del territorio, encontrándose a su paso con las altas montañas existentes en la zona de Jinotega, obligando a las masas de aire húmedo a ascender mecánicamente, provocando precipitaciones de tipo orográficas en dicha ciudad y su alrededor. Este tipo de precipitación pone de manifiesto el efecto del relieve sobre el clima del lugar, no solamente en las vertientes de barlovento, donde se dan las mayores precipitaciones, sino también con el incremento de éstas a medida que aumenta la elevación.

La cantidad de lluvia acumulada durante el período lluvioso entre mayo – noviembre, equivale al 85% del total medio anual de dicho período. A partir del mes de diciembre las precipitaciones son inferiores a los 100 mm, por lo que se considera que son condiciones de sequedad (meses secos), esta disminución se incrementa en diciembre hasta alcanzar su mínimo valor en marzo y abril con valores entre 30 y 40 mm respectivamente. Durante el período seco (diciembre – abril) el acumulado de precipitación que se registra representa un 15% del total anual.

La estación Jinotega reporta una lluvia promedio anual de 1211 mm para el período 1951- 2001. Los meses secos son enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre, con valores de precipitación promedio de 39, 20.8, 15.4, 24.7, 80.9, 44.8 mm, respectivamente. (Ver Gráfico 2.1)

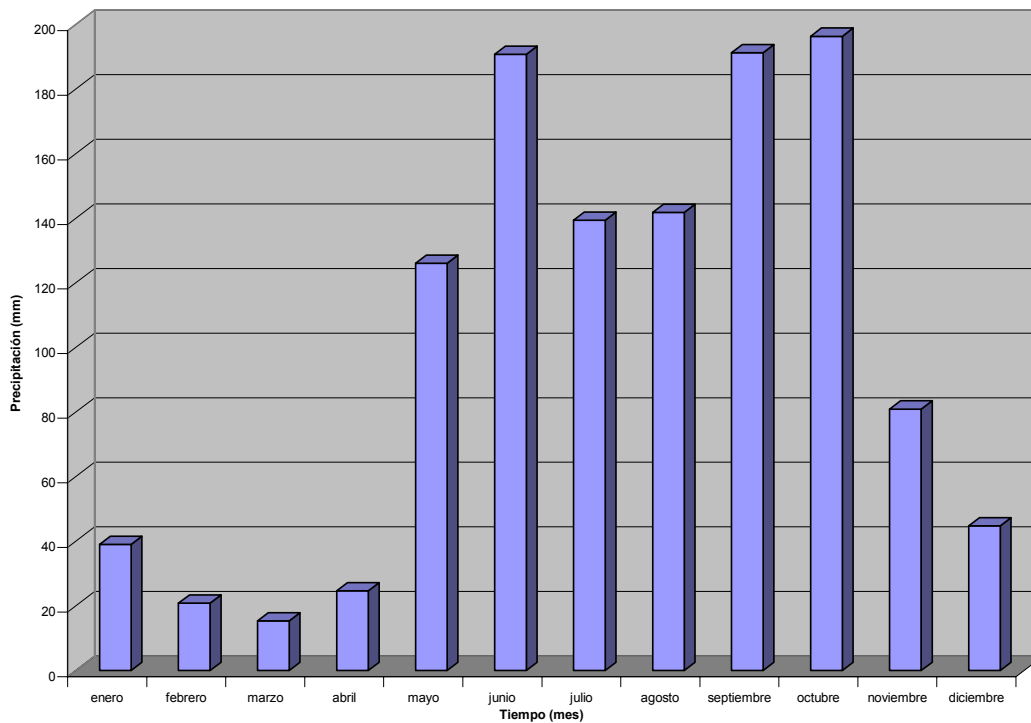


Gráfico 2.1.- Precipitación Media (1952 – 2001). Estación Jinotega 55 020.

Los registros indican que el mes más seco es marzo. El mes más lluvioso del período es octubre con 9812.6 mm. El año con más precipitación fue 1998 (1933.7 mm), debido al fenómeno natural Huracán Mitch. El Anexo A contiene los registros de lluvias totales anuales de dicho período.

La ampliación del período lluvioso hasta noviembre se debe en gran parte a la penetración de las masas de aire húmedo proveniente del Caribe, las cuales son empujadas hacia el interior del territorio, cuando se intensifican los vientos Alisios, como consecuencia del fortalecimiento del Anticiclón Subtropical a finales de octubre.

2.2.2 Temperatura

Los valores registrados para las temperaturas en Nicaragua responden a la posición geográfica del Istmo, cuyas bajas latitudes lo ubican en las regiones de clima Tropical Húmedo. El comportamiento temporal de la temperatura media del aire muestra que las temperaturas medias más elevadas ocurren entre abril-mayo coincidiendo con el final del período seco e inicio del período lluvioso, tiempo durante el cual el intercambio de calor entre el suelo y la atmósfera se intensifica, contribuyendo al incremento de los procesos de evaporación y recalentamiento de las masas de aire junto al suelo.

Las temperaturas mínimas se registran en los meses de diciembre – enero, ésta presenta un patrón de variación mensual bastante uniforme en toda el área de estudio con pequeñas variaciones del orden de los 1.5°C entre los valores máximos y mínimos. La estación Jinotega reporta una temperatura máxima de 29.5 °C para el mes de abril y la mínima de 14.2°C para el mes de enero. En el Gráfico 2.2 y Anexo A se presentan los valores promedio mensuales de temperatura para el período (1970 - 2001).

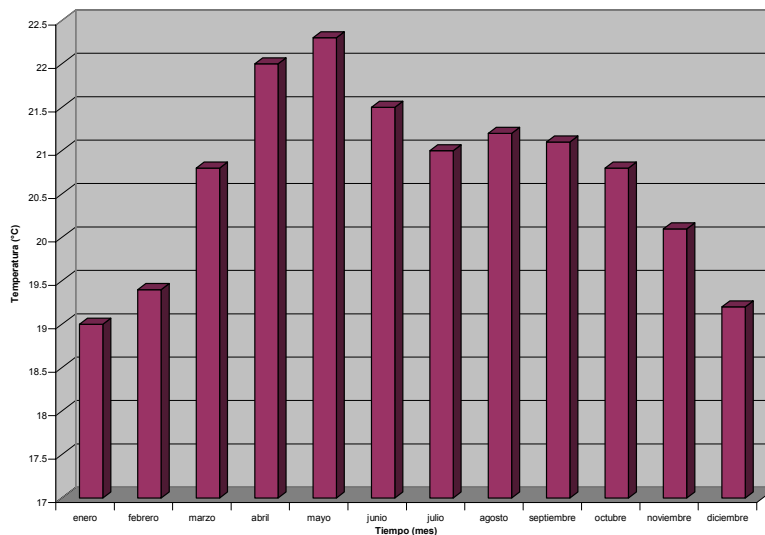


Gráfico 2.2.- Temperatura Media (1970 – 2001). Estación Jinotega 55 020.

2.2.3.- Humedad Relativa

Los datos de humedad relativa se obtuvieron de la estación Jinotega la cual registra temperaturas del bulbo húmedo y seco. El comportamiento de la humedad coincide con los datos de precipitación, temperatura; los meses más secos y de alta temperatura son los meses con menor humedad el cual oscila entre 70.4 y 80.4%; para los meses con mayor humedad relativa son los más lluviosos y de baja temperatura los que oscilan entre 82.0 y 84.4% (Anexo A).

2.2.4.- Duración de Brillo Solar

La estación Jinotega registró un promedio de 170.9 h/dec de brillo solar correspondiente al período 1970-1991 y 1994-2001. El mes de marzo, es el que más horas promedio de brillo solar tiene 8.0 h/dec, posiblemente se aprecie más en el sector Pacífico del Istmo.

2.2.5.- Frecuencia y Velocidad del Viento

Los valores de velocidad promedio mensual registrados en los años 1970-1973 y 1990-2001(ver Anexo A), reflejan una clara distinción con la época seca y lluviosa, cuando el país está invadido por el flujo predominante de los vientos alisios. Se observa esta característica en los meses de enero, febrero, marzo, abril, julio, agosto, noviembre y diciembre. Durante los otros meses mayo, junio, septiembre y octubre los vientos son menos intensos con velocidades entre 1.5 y 1.9 m/s y muy variable en su dirección.

2.2.6.- Clima

En la zona de estudio, el tipo de clima se clasifica como clima Tropical Húmedo, con una precipitación promedio anual de 1211 mm , con una estación seca muy marcada, principalmente en los años del fenómeno del Niño. Las precipitaciones mensuales oscilan entre 15.4 a 80.9 mm. A diferencia de la época lluviosa, donde ocurren las altas precipitaciones mensuales con valores de 126 a 196.3 mm. El mes más cálido mayo presenta temperaturas mensuales hasta de 23.8°C y en el mes más fresco la temperatura llega hasta los 17.5°C. La humedad relativa baja en el mes de abril 60.1% y alta en junio 94%.

2.3 Suelos

2.3.1- Tipo de Suelos

Los suelos de la microcuenca del río Jinotega generalmente son variables, Vertisoles que cubren un área aproximada del 20% al igual que los Mollisoles con 20% ; Alfisoles que cubren un área aproximada del 25% y los Entisoles con 35% del área total de la microcuenca. Ver Figura 2.3

Suelos vertisoles de textura arcillosa, del tipo montmorillonita(> 60 % arcilla) que poseen propiedades de dilatación y contracción; pobremente drenados. Tienen permeabilidad muy lenta; capacidad de humedad disponible moderada a moderadamente alta; con pendientes de 0 hasta de 2%.

Suelos mollisoles se encuentran un pequeño bloque en la ciudad de Jinotega y un poco al suroeste de la misma. Son suelos de franco arenosos a franco arcilloso

de buen drenaje, color negro – café claro y pendientes ligeramente moderada del 2 al 4 %.

Suelos Entisoles comunes en zonas montañosas con pendientes escarpadas y profundidad superficial a ligeramente profundos, con textura franco-arcillosa, alta erosión hídrica y escurrimiento superficial rápido.

Los suelos Alfisoles son también de zonas montañosas con pendientes escarpadas; poseen textura franco-arcillosa de estructura masiva, el drenaje interno del suelo varia de pobres a bien drenados. La microcuenca de la quebrada Santa Clara cuenta con dos tipos de suelo; Vertisoles y Alfisoles descritos anteriormente.

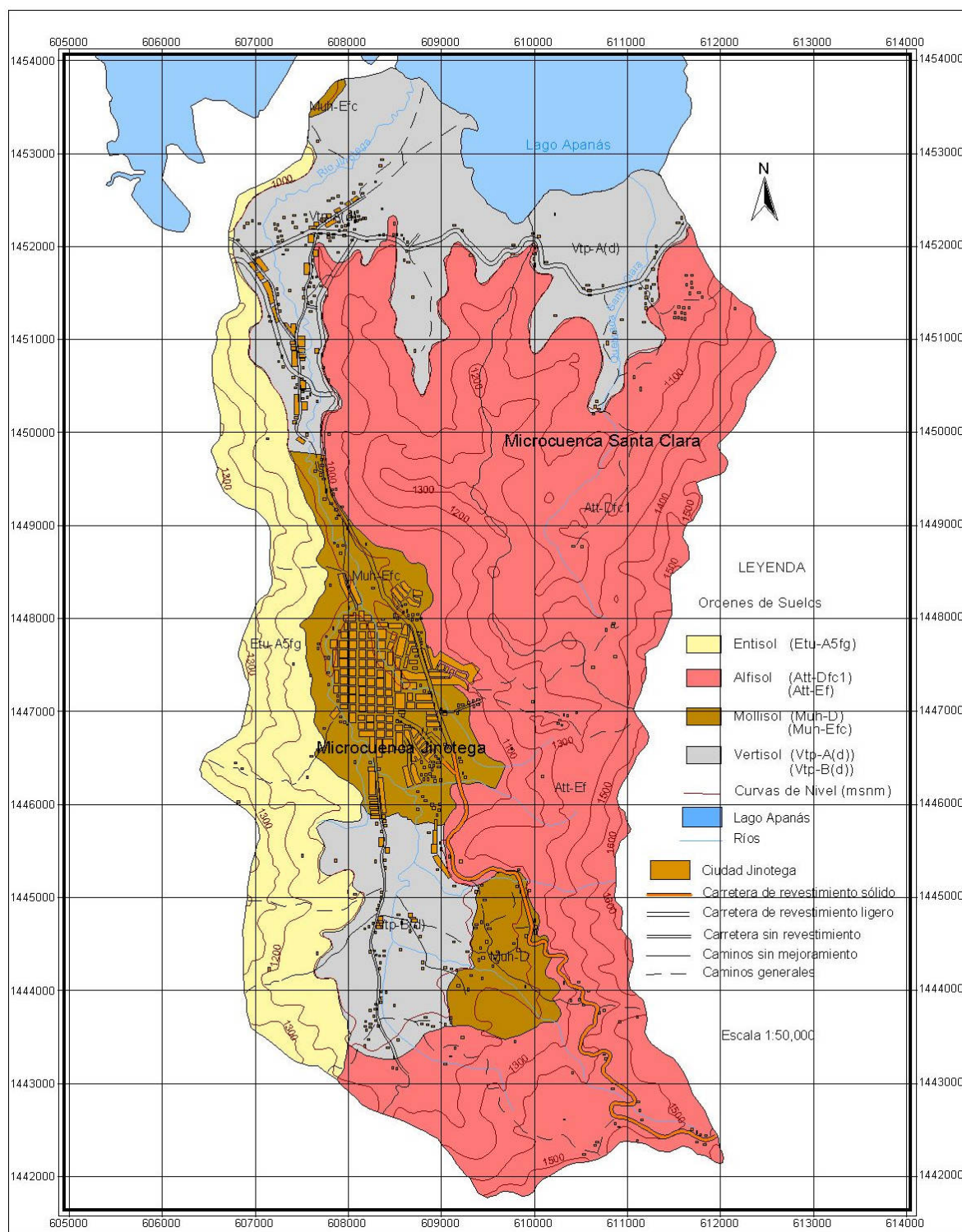


Figura 2.3.- Mapa Tipo de Suelo.

Elaborado por: Ruiz, J., a partir de datos tomados del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) - Dirección General de Ordenamiento Territorial (Unidad de Suelos), 2002.

2.3.2 Uso actual del Suelo

De acuerdo a estudios de uso del suelo elaborado por INETER, se puede determinar que al NE del Lago Apanás se encuentran bosques latifoliados ralos asociados a pasto natural. Al S y NE de la ciudad de Jinotega existen bosques latifoliados densos. En el Valle y Llano Grande se encuentran bosques ralos con áreas densamente poblada, se cultiva maíz, frijol, sorgo, hortalizas y plátano. (Ver Figura 2.4)

En Llano Grande, con un área aproximada de 210 ha, se ubica el campo de pozos Valle de Apanás, el suelo se ocupa de pasto, hortalizas, granos básicos y árboles en zonas baldías. Así mismo, el Campo de pozos Santa Clara, con un área aproximadamente 83 ha, el suelo es ocupado por hortalizas, pastos y algunos árboles.

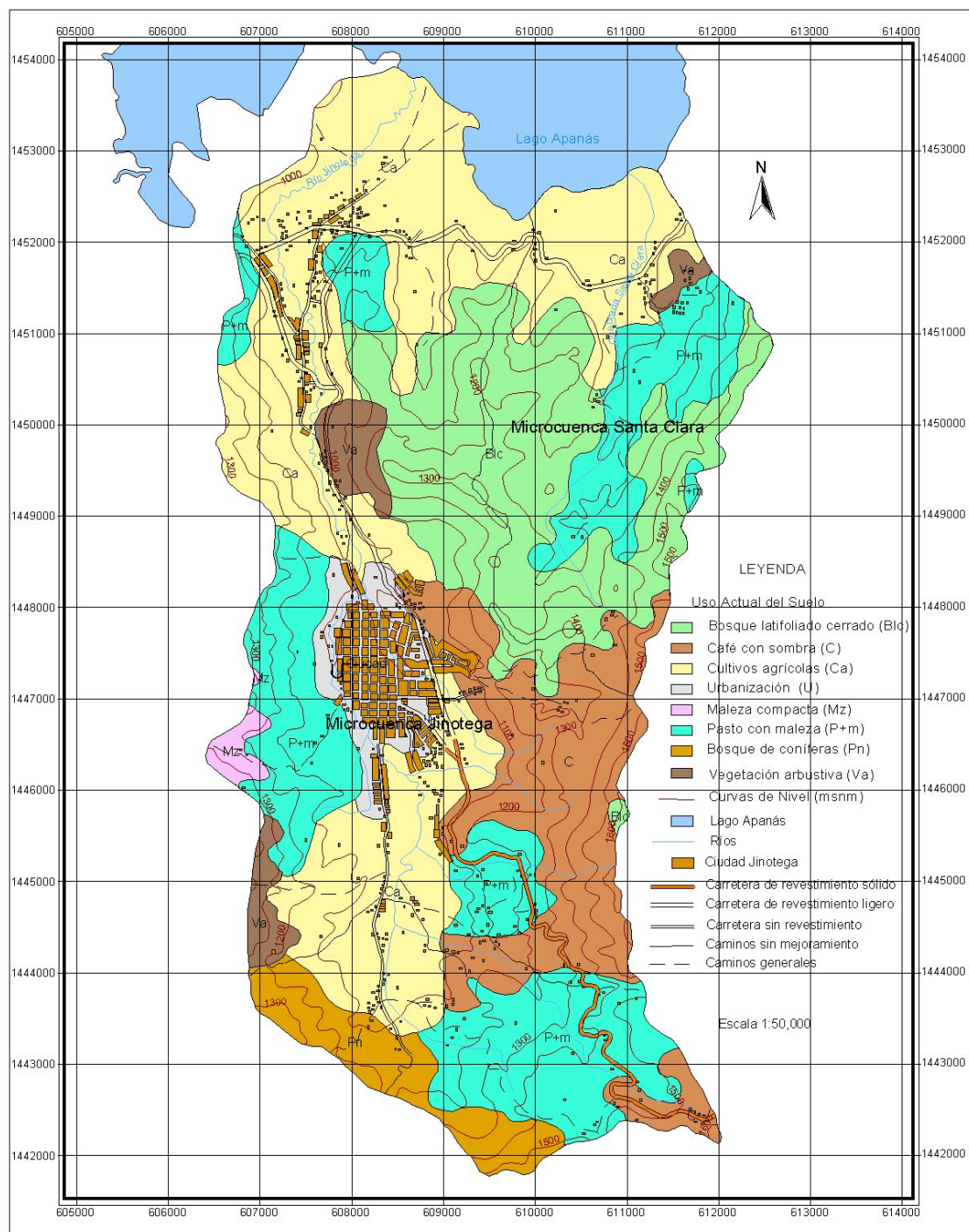


Figura 2.4.- Mapa Uso Actual del Suelo.

Elaborado por: Ruiz, J., a partir de datos tomados del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) - Dirección General de Ordenamiento Territorial (Unidad de Suelos), 2002.

2.4 Producción Aguas Subterráneas

2.4.1 Manantiales

El abastecimiento de agua de la ciudad de Jinotega y la Villa de Apanás está basado en la explotación de fuentes de aguas subterráneas. El sistemas de manantiales de Los Papales y Los Conquistadores tiene poca importancia en el sistema de suministro de agua potable para la ciudad de Jinotega. Con un caudal disponible de 800 m³/día (Aguadora de Jinotega, 2001). En la tabla 2.2, se presenta la cantidad de agua producida.

Los Papales- Este sistema consiste de dos galerías de infiltración (Palmeira y Galería) y una pequeña presa (Los Papales) del río Ducualí. La cuenca del Ducualí abarca 36 ha, el área de los dos manantiales incluye menos de 5 ha. Construido en 1950, dispone de una red de canales de 1200 m hecho de asbesto-cemento con un diámetro de 3" – 4". Saliendo del depósito el agua fluye por gravedad a dos tanques que tienen un volumen de 170 m³ cada uno. También existe una planta de dosificación de cloro que está en un estado satisfactorio. (GKW,2000).

Conquistador- A 3 km al sur de la ciudad de Jinotega en la carretera # 3 a Matagalpa se construyeron tres depósitos de manantiales en 1995. Ellos suministran agua sobre un conducto de PVC de 3" a un depósito elevado de acero (V = 113.4 m³). Los depósitos de manantiales contienen tubos perforados de PVC de 2" y contienen grava infiltrante. (GKW, 2000)

La ciudad de Jinotega y sus alrededores enfrenta una seria escasez del recurso agua, por presentar condiciones naturales que no favorecen un alto almacenamiento de aguas subterráneas, las rocas Terciarias del Grupo Coyoil y

los sedimentos Cuaternarios de pobre espesor; así como, la contaminación de las aguas superficiales tanto del lago como de ríos, los que están afectando la calidad del agua subterránea.

Tabla 2.2- Comparación de la Producción de Manantiales.

Lugar	Producción invierno (1996)	Producción Verano (1996)	Producción (1999-2002)
	(m³/d)	(m³/d)	(m³/d)
Los Papales	1080	709	898.56
Conquistadores 1,2,3	466	158	311.04
Total	1546	867	1209.6

Fuente: Informes Especiales – GKW

Claramente se puede apreciar la disminución del caudal de producción de 1203.4 (m³/d) en una diferencia de 3 años, esto se debe a la disminución de las precipitaciones producto del deterioro del medio ambiente.

2.4.2 Pozos

Las aguas subterráneas son la única fuente de agua segura para abastecer a la población; las que a su vez pudieran ser contaminadas por las aguas del Lago Apanás debido a los residuos que contienen los sedimentos del lecho del Río Jinotega y que son arrastrados en período lluvioso. En la Tabla 2.3 se presenta la producción de los pozos para los años 1996 y 1999.

Tabla 2.3- Comparación de la Producción de Pozos de Abastecimiento de Agua Potable.

CÓDIGO	1996		1999	
	Tiempo de bombeo (h/día)	Producción (m³/d)	Tiempo de bombeo (h/día)	Producción (m³/d)
AP-1	11	25.9	11	126.72
AP-3	16	156	16	103.68
AP-4	8.61	20	14	176.4
AP-5	20	526.2	20	554.40
AP-6	14	279.4	14	282.24
Parque Central	12	81.6	12	77.76
Infonac # 3	6	81.7	12	185.76
Infonac # 4	6	81.7	12	203.04
San Cristóbal	7	39.7	7	32.76
Rastro Viejo	24	163.2	24	172.8
Linda Vista	23	130.4	22	126.72
Total		1585.8		2042.28

Fuente: Informes Especiales – GKW

2.5.- Modelo Numérico

El acuífero como sistema tiene sus leyes particulares de funcionamiento. Un sistema comprende un conjunto de componentes físicos, geométricos y unas acciones exteriores al sistema. Matemáticamente, se puede en cada momento definir el sistema por una serie de parámetros y de variables; los parámetros pueden describir los componentes geométricos, como forma, límites, etc. o sus componentes físicos, como transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc. Las variables, que se suelen llamar variables de estado, describen la situación del sistema en cada momento y pueden ser altura piezométrica, componentes del vector velocidad, concentración química, etc. (Boletín N° 37 ,1972).

Nuestro sistema también está sujeto a una serie de restricciones que pueden ser físicas o impuestas por nosotros. Normalmente, en el caso de acuíferos no es posible resolver el problema de conseguir un óptimo. Lo que se suele hacer es simular el sistema ante varias alternativas de explotación y elegir la más conveniente.

Para simular el sistema, tenemos que partir de sus componentes físicos y geométricos y de un estado inicial. Al sistema se le aplicará una serie de acciones de las que queremos conocer su reacción y se obtienen como resultado las situaciones que alcanzaría el sistema en periodos sucesivos de tiempo.

El propósito principal de la utilización de los modelos en aguas subterráneas es el de determinar el comportamiento del sistema de flujo sujeto a acciones naturales (recarga por precipitación y por percolación de los ríos) y artificiales (extracción o inducción de agua por medio de pozos). Existen varios tipos de modelos los que se diferencian en la forma de resolver la ecuación diferencial y en la forma de describir el sistema, entre los cuales se mencionan los analógicos, los analíticos y

los numéricos. Estos últimos utilizan ecuaciones de flujos de aguas subterráneas para sus soluciones numéricas, especialmente la ecuación de Darcy.

En los modelos digitales o numéricos, existen dos aproximaciones o métodos básicos mediante los cuales puede resolverse la ecuación de la continuidad: Modelos de resolución mediante diferencias finitas y Modelos de resolución mediante elementos finitos.

III. DISEÑO METODOLÓGICO

La modelación de agua subterránea es una representación matemática de la hidrología subterránea y/o de la química. Utiliza las ecuaciones fundamentales de flujo y conservación de masa para simular el flujo de agua subterránea y el transporte de sustancias disueltas (soluto), en base a observaciones reales y percepciones de un local.

Para el presente estudio se seleccionó el programa Visual ModFlow, el cual es un modelo de diferencias finitas que permite resolver de forma numérica la ecuación de flujo estacionario en tres dimensiones obtenidas a partir de la ley de Darcy y la ecuación de la Continuidad. La ventaja de los modelos de tres dimensiones con respecto a los de dos dimensiones, es por su versatilidad para la asignación de condiciones de fronteras (ríos, drenes, etc.) la determinación de espesores de capas geológicas y la eliminación del efecto de penetración parcial de los pozos de producción.

El modelaje del acuífero se realizó en estado estacionario, debido a los pocos datos con que se cuenta en el área de estudio, lo heterogéneo y anisotrópico del mismo siendo que el movimiento horizontal del agua subterránea es mayor que el movimiento vertical. La ecuación de flujo tridimensional de aguas subterráneas en estado estacionario, en un medio poroso, heterogéneo y anisotrópico, viene dada por la expresión:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) \pm w = 0$$

Donde:

K_x, K_y, K_z : Componentes del tensor de conductividad hidráulica (m/día)

dh – diferencia de carga hidráulica (m)

w : flujo volumétrico de entrada: (+) como recarga o (-) como descarga ($m^3/día$)

x,y,z : dirección en el espacio de las coordenadas cartesianas (dirección del flujo).

Donde la relación entre las propiedades del medio poroso, el gradiente hidráulico y el flujo de agua subterránea, se da por la ley de Darcy para cada dirección de flujo, horizontal lateral, horizontal transversal y vertical.

$$q_y = K \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$q_x = K \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$q_z = K \frac{\partial h}{\partial z}$$

q_x, q_y, q_z – velocidad de Darcy en las diferentes direcciones

La ecuación se resuelve por medio del método de diferencias finitas, en donde las diferencias parciales $\partial x, \partial y, \partial z$ son aproximadas a longitudes finitas $\Delta x, \Delta y, \Delta z$. El acuífero se divide en celdas de dimensiones establecidas $\Delta x, \Delta y, \Delta z$, de manera que forman un conjunto de volúmenes finitos del acuífero.

El sistema de flujo de aguas subterráneas se discretiza por medio de una malla rectangular, donde el tamaño de una celda es muy pequeño comparado con el del acuífero, por lo que en el caso de un número infinito de celdas la solución es exacta.

El proceso metodológico descrito, presenta la secuencia de las técnicas utilizadas para el presente estudio hidrogeológico del acuífero de Jinotega, la cual ha consistido en el desarrollo sistemático de cuatro etapas como son: etapa preliminar, etapa de investigación de campo, etapa del procesamiento de datos e

interpretación de la información y etapa de modelaje. Cada una de las mismas ha sido desarrollada y asociada directamente con los capítulos del presente estudio a como se muestra a continuación.

3.1 Etapa Preliminar

Esta primera etapa consistió en la recopilación, selección y análisis de la información existente tanto de informes como de mapas (topográficos, uso potencial del suelo, tipos de suelo, etc.), a escala 1:50,000, así como información suministrada por las diferentes instituciones consultadas para este fin. La misma ha incluido un reconocimiento general in situ del área de estudio, así como la visualización inicial de campo.

3.2 Etapa de Investigación de Campo

En el proceso de esta etapa, resulta que la información del área a estudiar contaba con muy poca información, por tanto requería una etapa de campo detallada.

El trabajo de campo comprende las actividades desarrolladas in situ y los análisis visuales y de laboratorio necesarios para caracterizar y conocer el comportamiento hidrogeológico del acuífero. Para esta actividad se realizaron mas de 30 giras al campo comprendidas entre el mes de enero y agosto del año 2002, que incluyeron levantamiento geológico, inventario de pozos, aforos, mediciones de niveles de agua en los pozos, pruebas de infiltración y consultas a los moradores.

3.3 Análisis de Datos

Esta fase consistió en el análisis e interpretación de los resultados de campo e información recopilada. El análisis de la información recopilada, ayudó a definir la forma general del trabajo, la metodología específica a seguir para la obtención de los objetivos propuestos. Se utilizaron diferentes modelos para el análisis de resultados, principalmente mapas, soluciones gráficas y numéricas que incluyeron:

- Interpretación y elaboración de mapas y perfiles geológicos e hidrogeológicos.
- Confección del mapa de isofreáticas del cual se puede deducir la dirección de flujo, obtenidos del monitoreo de los niveles del agua.
- Balance Hídrico de Suelo: Cálculo de la evapotranspiración y cálculo de las pruebas de infiltración para determinar la capacidad de infiltración f_c , el cual, es un elemento del balance hídrico de suelo para la determinación de la recarga.
- Análisis y cálculo de parámetros hidráulicos (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc.), utilizando el método de Cooper-Jacob, haciendo uso del programa Aquifer Test y GWW.
- Determinación del modelo conceptual del acuífero para la aplicación del modelo matemático hidrogeológico tridimensional Visual Modflow.

3.3.1 Hidrogeología

3.3.1.1 Parámetros Hidráulicos del Acuífero

El objetivo principal de la obtención de los parámetros hidráulicos es definir, y en algunos casos, predecir el funcionamiento y la repuesta del acuífero ante determinadas acciones externas, como por ejemplo las extracciones de agua por bombeo (Custodio & Llamas 2000).

Transmisividad

La transmisividad (T) se define como el caudal o flujo de agua subterránea que pasa a través de una sección del acuífero, de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del manto, bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad. Sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud ($T = (L)^2 \cdot (T)^{-1}$), por lo que puede expresarse en $m^2 / día$ o en $cm^2 / día$ (Custodio & Llamas 2000).

Los valores de transmisividad de las pruebas de bombeo (Anexo C) se obtuvieron mediante la utilización del método de Jacob & Cooper (1946), a través del programa AquiferTest (Waterloo Hydrogeologic, Inc). En este método los datos tiempo-abatimiento se presentan en un gráfico semilogarítmico y el cálculo de la transmisividad se realiza por medio de la fórmula:

$$T = 2.3 Q / 4\pi \Delta s$$

Donde:

T: Transmisividad ($\text{m}^2/\text{día}$)

Q: Caudal de bombeo ($\text{m}^3/\text{día}$)

π : Constante pi

Δ : Diferencia de abatimiento para un ciclo logarítmico de tiempo

Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica es un coeficiente de proporcionalidad. Esta relacionado con la permeabilidad de cada unidad geológica y al medio poroso en que circula. Según Horton, la razón de infiltración constante al final de la curva de capacidad de infiltración es numéricamente equivalente a la conductividad hidráulica saturada del suelo.

Coeficiente de Almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento se define como el volumen de agua que puede ser liberado por un prisma vertical del acuífero, de sección unitaria y altura igual a la del acuífero saturado, cuando se produce un descenso unitario del nivel piezométrico o de carga hidráulica. Se presenta por “S” y es adimensional (Custodio & Llamas 2000).

Para el caso de los acuíferos libres, el coeficiente de almacenamiento es conocido como rendimiento específico “Sy” (specific yield), el cual representa el volumen de agua liberado de una unidad de acuífero saturado como producto del desecamiento de los poros del material, es decir su valor es igual al de la porosidad eficaz. En los acuíferos confinados, el coeficiente de almacenamiento depende de los efectos mecánicos elásticos de la compresión del material del

acuífero y de la expansión propia del agua, cuando se reduce la presión de ésta por efectos de bombeo (Custodio & Llamas 2000).

El rango usual de valores de coeficientes de almacenamiento para acuíferos libres es de 0.01 a 0.30, mientras que para acuíferos confinados o semiconfinados es de 5×10^{-3} a 5×10^{-5} (Freeze & Cherry). El coeficiente de almacenamiento “S” se obtiene solamente de pruebas de bombeo con pozos de observación en los alrededores del pozo de bombeo.

3.3.1.2 Medición de Niveles de Agua en los Pozos

La medición de los niveles de agua provee una información básica en los estudios hidrogeológicos, ya que determina el nivel estático y dinámico del acuífero, dependiendo si el pozo en el que se toma la medida se encuentre bombeando (dinámico) o no (estático) (Sanders, 1998).

El equipo utilizado para la medición de los niveles fue una sonda eléctrica. En esta misma fase se realizó la ubicación exacta de los pozos por coordenadas UTM y la determinación de la altitud.

Trazado de las Isolíneas

Para la elaboración del mapa de isofreáticas se utilizó el método del triángulo, el que consiste en unir los puntos de igual cota sobre los lados del triángulo de acuerdo con las divisiones efectuadas sobre los mismos. En los lugares donde no hay información de pozos, las curvas interpretativas se basan en deducciones con ayuda de las curvas de topográficas y se indican como hipotéticas.

3.3.1.3 Pruebas de Infiltración

Se utilizó el método Porchet, el cual consiste en excavar un hoyo cilíndrico de radio R y se llena de agua hasta una altura h . La superficie, a través de la cual se infiltra agua es: $S = \pi R(2h + R)$. Finalmente se determina el punto de equilibrio al que llega la velocidad de infiltración.

La prueba de infiltración se realiza en cuatro horas: dos horas para saturar el suelo y las dos restantes para la lectura de los descensos de nivel del agua con intervalos de tiempo cortos y más largos a medida que alcanza la infiltración básica (f_c). La curva de infiltración vs. tiempo alcanza el valor de infiltración básica entre 2 y 4 horas después de haber saturado el suelo y varía dependiendo de las características del suelo.

Cuando las pruebas no alcanzan el valor de infiltración básica (f_c), se considera utilizar el método desarrollado por Schosinsky (1998). Este método consiste en extrapolar la curva de infiltración vrs. tiempo y obtener un valor representativo de f_c cuando la prueba de infiltración no se ha realizado con suficiente tiempo de duración.

3.3.1.4 Recarga Potencial

El balance de humedad de suelos utilizado se basa en el método de Penman y Grindley, el cual considera una variación líneas de la evapotranspiración potencial con respecto a la evapotranspiración real. Esta relación establece que a medida que el contenido de humedad se aproxima a su punto de marchites, se incrementa para las plantas, la dificultad de obtener agua del suelo a través de las raíces. Por lo que las plantas cierran sus estomas con el fin de guardar humedad, es decir,

que existe menos evapotranspiración. Se utilizó un modelo de hoja de cálculo elaborada por Gunther Schosinsky (Anexo C).

3.3.2 Agua Superficial

3.3.2.1 Aforos

La estación de aforos mide el régimen del río a través del conocimiento de los caudales circulantes medios, instantáneos o aportaciones en cada unidad de tiempo. Para medir el caudal de una corriente de forma directa, o sea sin empleo de ecuaciones empíricas se emplean aparatos como los molinetes. El aforo con molinete se fundamenta en determinar la velocidad de las aguas en distintos puntos de una transversal del río, lo suficientemente próximos como para poder dibujar en ese mismo transversal, en escala suficientemente grande las líneas isotacas o sea los puntos donde la velocidad es la misma (Custodio & Llamas, 2001).

La utilización práctica del molinete se hace normalmente dividiendo la superficie libre del transversal del río en $(n+1)$ partes, fijando n puntos, de los cuales el primero estará muy próximo a una orilla y el segundo a la opuesta. En cada uno de estos puntos se sitúa el molinete a distintas profundidades, con lo que se logra conocerla velocidad del río en N puntos, donde siempre N es mayor o muy excepcionalmente igual a n (Custodio & Llamas, 2001).

El molinete consiste de una regla graduada metálica, en su extremo inferior se ubican las copas que giran a la velocidad de la corriente, en la base de las copas se conecta el cable para los audífonos en los que se escucha el sonar de cada golpe que representa un período de rotación. Con un cronómetro se cuentan la

cantidad de golpes que deben de coincidir con una tabla predeterminada de revoluciones por segundos. Después se procede al cálculo. (Sanders, L., 1998).

3.4 Etapa del diseño del modelo

En esta etapa se determina el dominio del modelo, lo que incluye : condiciones de frontera o limites , parámetros hidráulicos, espesores de las capas geológicas, recarga directa y caudales de extracción de los pozos, etc. Toda esta información fue pasada a formato digital compatible con las usadas por el programa Visual Modflow.

3.4.1 Calibración y Verificación

El error de calibración es la diferencia entre los parámetros utilizados en el modelo y los reales. Es la relación entre los niveles observados y los calculados por el modelo, tratando de reproducir las condiciones naturales de flujo y carga hidráulica, mediante la asignación de valores de recarga y conductividad hidráulica.

3.4.2 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad del modelo numérico, consiste en la simulación por separado de la influencia de valores mínimos, intermedios y máximos razonables de cada uno de los parámetros involucrados, éstos se toman del rango de valores observados conforme al modelo conceptual.

3.4.3 Predicción

La simulación de predicción se realiza para la previa evaluación del error y análisis de sensibilidad del modelo calibrado, para poder predecir la futura reacción del acuífero ante ciertas condiciones impuestas al mismo.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- GEOLOGÍA LOCAL

El estudio geológico presentado en este acápite es el resultado del levantamiento geológico (50 km²) realizado para esta tesis de maestría y confirmado con el mapeo geológico realizado por el Servicio Geológico Checo (2003). La Figura 4.1 muestra los resultados de toda la información geológica.

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia geológica central de Nicaragua, catalogada como Provincia Ignimbrítica en la cual predominan las rocas volcánicas Terciarias del Grupo Coyol cubiertas por suelos aluviales y coluviales de espesores considerables.

En estudios realizados en el territorio de Matagalpa (Hradecký et al, 2002), se comprueba que la clasificación litológica existente hasta la fecha es muy general y que solo refleja la evolución geológica de cierta parte de Nicaragua central, o tal vez de uno de los numerosos complejos volcánicos de la región. La confirmación a esta hipótesis se demuestra en el estudio reciente (SGC-INETER, 2003) realizado por el Servicio Geológico Checo, en el municipio de Jinotega; el mapeo geológico demuestra la formación de complejos volcánicos que reflejan la variabilidad geológica, las que están separadas una de otra por transiciones progresivas faciales. Hasta el momento se han identificado 4 complejos volcánicos los que a continuación se mencionan: Cerro La Mesa (1282 m), Cerro Trucasán (915 m), un centro ubicado en la parte meridional de la ciudad de Jinotega y el volcán Cerro Saraguasca (1285 m).

4.1.1- Complejo Volcánico Jinotega

El complejo volcánico Jinotega limita al oeste con el complejo volcánico “Río Viejo – Cerro Saraguasca”, al noreste “Complejo volcánico Jigüina”. Los límites entre las áreas volcánicas aisladas, son generalmente gradacionales, muchas veces modificados por la tectónica, pero siempre se trazan con base en sus cambios litológicos.

Morfológicamente se trata de un territorio con relieve muy variado debido a que incluye tanto regiones de montañas como llanas de la costa de Lago Apanás (ver Figura 4.2), con alturas que varían desde los 960 metros a 1688 metros (Cerro El Chimborazo). Los rasgos geológicos típicos de este complejo incluye una estructura geológica relativamente repetitiva, representada por el predominio de flujos piroclásticos de bloques intercalados con lavas andesíticas, las secuencias volcánicas en la dirección noreste - este tienen una inclinación generalmente por debajo de los 5 – 20°, la lateritización es muy débil o inexistente. De notable extensión son los depósitos cuaternarios no-volcánicos, expuestos sobre todo en la llanura de inundación del Lago Apanás.

4.1.2.- Litoestratigrafía Local

En la ciudad de Jinotega y sus alrededores aparecen cerca de la base la secuencia de andesitas masivas ligeramente porfíricas de color gris a gris-oscuro. Las andesitas afloran sobre todo al sur del valle de la ciudad, cerca del Barrio Centro América y otros afloramientos esporádicos al norte de la ciudad en pequeñas canteras ubicadas en la base del valle.

En los afloramientos cercanos al río Jinotega se descubrió una veta de andesita fina de color negro, de un metro de espesor. Se trata de un fenómeno aislado ya

que al norte del territorio estudiado se comprobó la ocurrencia de una mínima cantidad de vetas de andesitas con espesores no mayores de un metro.

La litología predominante del área volcánica de Jinotega son los aglomerados andesíticos de clastos gruesos a bloques. Las elevaciones montañosas al este y oeste de la ciudad de Jinotega, Cerros La Trinchera, La Cruz, Chirinagua, El Calvario, Llano Redondo, Cerro Aventino y Fila Alemania, están constituidas por estos aglomerados que corresponden a depósitos de flujos piroclásticos. Su espesor máximo alcanza en estos sectores hasta los 250 – 300 metros y su extensión lateral puede alcanzar hasta decenas de kilómetros cuadrados. Los flujos piroclásticos son grises-oscuro, están formados por fragmentos angulares de diferentes tipos de andesitas entre las que predominan las coloraciones negras de aspecto vítreo. La matriz de los aglomerados, esta construida por líticos de tamaño ceniza a lapilli y es color gris.

En el sector de Las Mercedes, Cerro El Chimborazo las andesitas por su quimismo son mas básicas. Paulatinamente hacia el sur – sureste de la ciudad Cuatro Esquinas, Cuesta Los Pinos y Flor de Pino entre otros, hay presencia de intercalaciones de aglomerados y andesitas. Según la composición química se trata parcialmente de andesitas *sensus strictus*, tanto las andesitas intercaladas con flujos piroclásticos como las andesitas forman las mesetas volcánicas cercanas a La Montañita. En Llano La Tejera hay afloramientos de ignimbritas dacíticas, así lo demuestran los resultados de su análisis geoquímico.

La extensión original de la sedimentación se manifiesta en el flujo del río Jinotega, donde (al norte de la ciudad) forma una terraza expresiva de 6-8 metros de espesor. Las depresiones tectónicas son rellenadas por depósitos de abanicos aluviales la que está formada por el material fluvial, al norte de la ciudad de Jinotega en la desembocadura del río del mismo nombre al Lago Apanás. Otros abanicos aluviales se originan sobre todo en lugares de bocas de ríos cortos

debido al cambio de la curva erosiva escarpada a la moderada. Este género de la deposición es muy caótico. Desde el punto de vista litológico se destacan por una notable parte del material mal seleccionado y poco redondeado.

4.1.3 Relieve

La geomorfología actual está influenciada por procesos exodinámicos característicos del clima tropical por los cambios de los períodos seco y lluvioso. El relieve volcánico ha sido afectado y casi eliminado por la denudación profunda, la alternación de niveles de superficies aplanadas en el estadio de paleorelieves y pendientes erosionadas que es la evidencia del cambio de los ciclos de aplanamiento y erosión, los que están influenciados directamente por los procesos tectónicos de la época Terciaria, donde se supone que el sistema de fallas se creó antes de que se produjera el colapso de bloques diastróficos los cuales formó la depresión donde está ubicada la ciudad de Jinotega (Ver figura 4.2).

4.1.4 Tectónica

La región es atravesada en sentido diagonal por el Sistema de fallas de Matiguás, con rumbo NO-SE y perpendicular a este sistema, numerosas fallas con rumbo NE-SO. Presentando además innumerables estructuras circulares relacionadas a paleo calderas de origen volcánico, particularmente en el extremo SE del Municipio y en menor grado en el extremo NE del municipio.

Existe en el área de estudio (Ver Figura 4.1) dos sistemas de fallas y fracturas con dirección NO-SE y NE-SO. La parte Noreste, Sureste y Suroeste del área de estudio se encuentra controlada principalmente por fallas y fracturas con orientación predominantemente NO-SE, las que se consideran las mas antiguas y

se puede apreciar en la cadena montañosa del Cerro La Trinchera, y en menor grado NE-SO. Este fallamiento ha creado una morfología de bloques escalonados donde se puede apreciar en algunos casos el cambio litológico.

El sistema de fallas NE-SO, tienen su mayor expresión en Fila Alemania donde sirve de límite entre los complejos volcánicos Jinotega y Jigüina, adquiriendo una importancia regional y la que según INETER se mantiene activa. Perpendicular a este fallamiento se formaron fracturas de considerable longitud con dirección O-E. Así mismo, se observa una relación entre la densidad del fallamiento y las estructuras de paleocalderas.

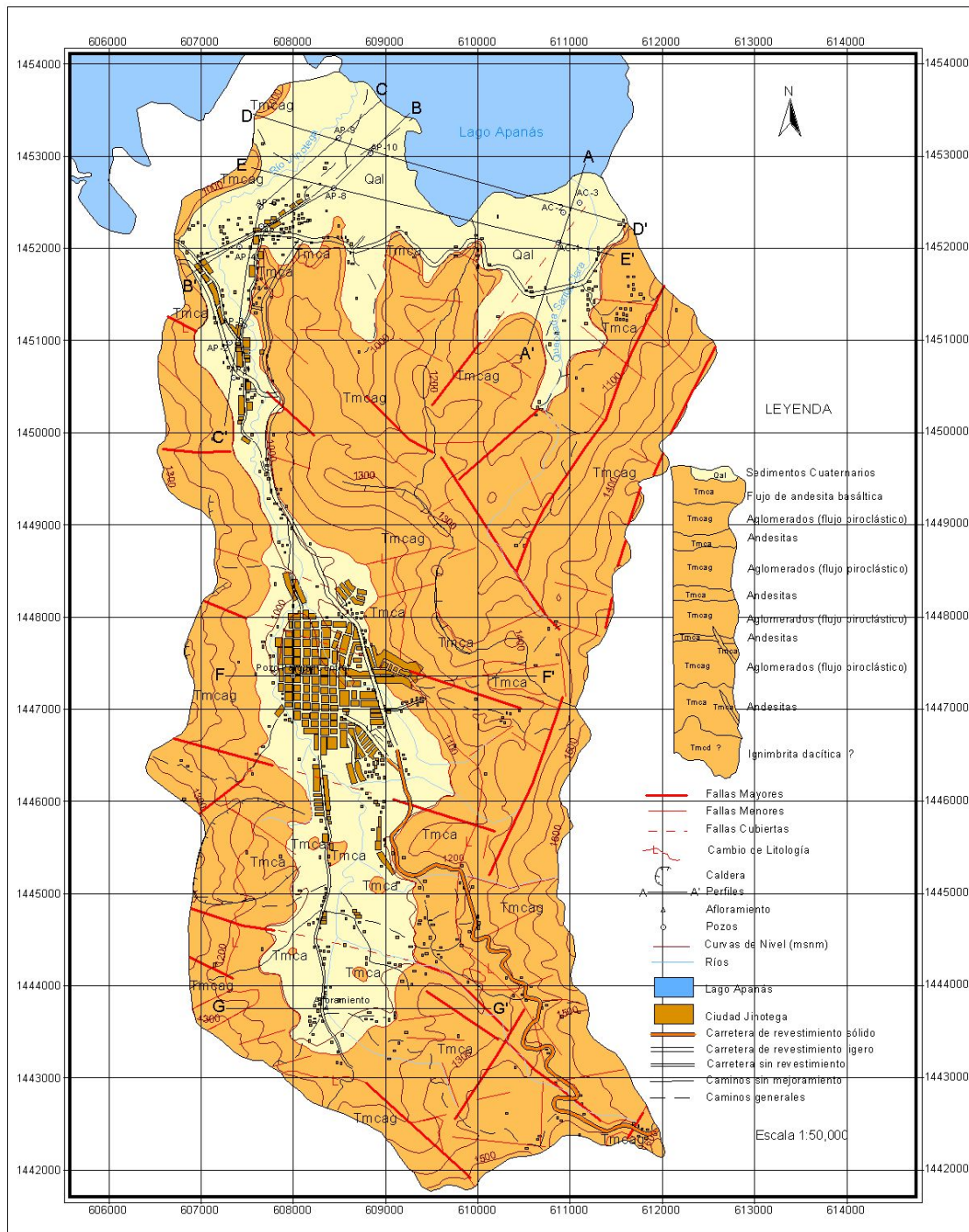


Figura 4.1- Mapa Geológico del Área de Estudio.

Por: J. Ruiz, 2002.

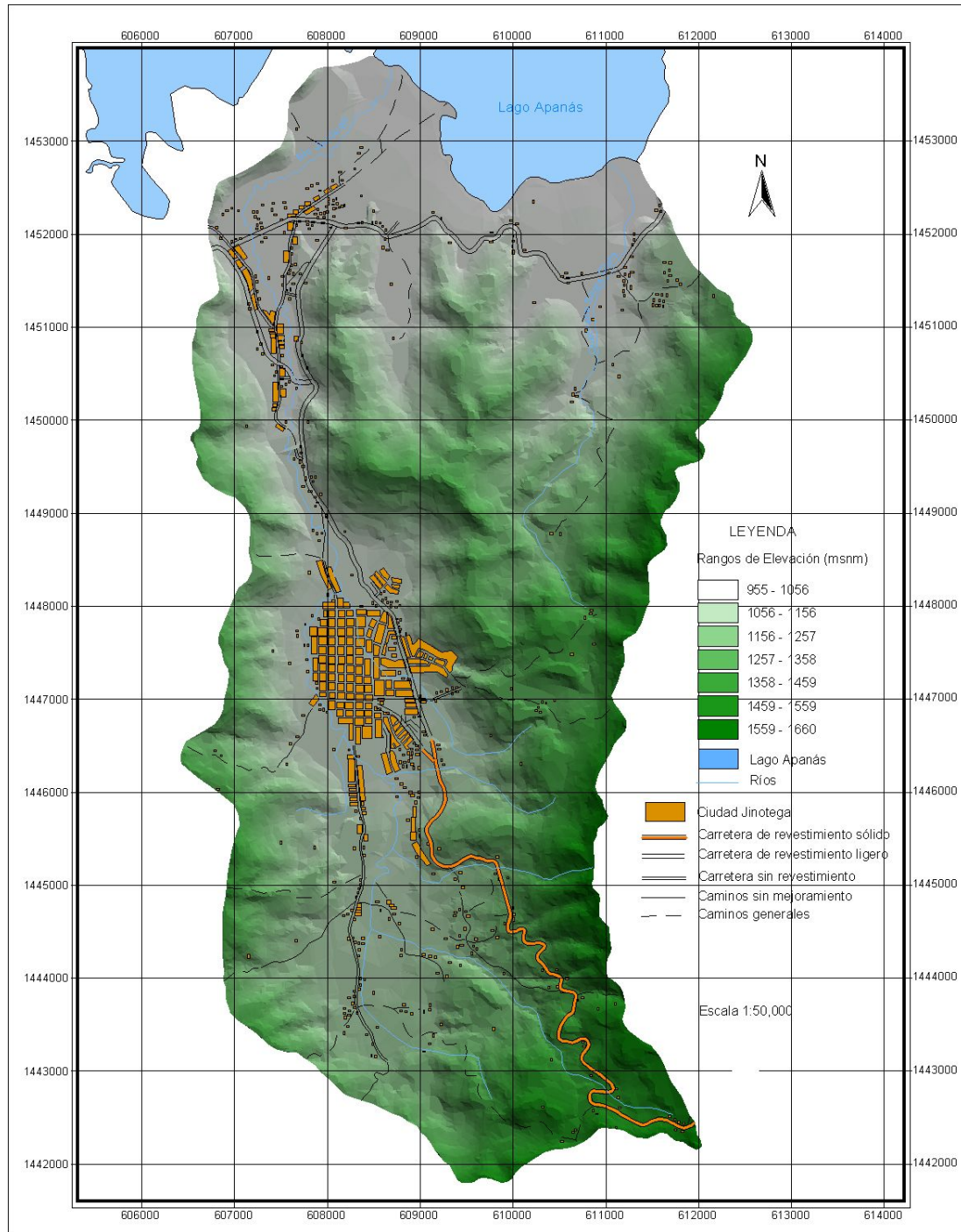


Figura 4. 2.- Mapa del Relieve del Área de Estudio.

Por: J. Ruiz, 2002.

4.2 –HIDROGEOLOGIA

4.2.1.-Unidades Hidrogeológicas

El acuífero Jinotega esta relacionado con el complejo volcánico del mismo nombre, lo comprenden las microcuencas del río Jinotega y la Quebrada Santa Clara. Separadas hidrográficamente pero conectadas entre si por el fallamiento intenso de la zona.

El acuífero se encuentra de cierta forma en sedimentos Cuaternarios con espesor aproximado de 50 a 77 m, y de rocas ignimbríticas fracturadas reportado en los perfiles litológicos descritos en los registros de las perforaciones de los pozos. Estas perforaciones fueron parcialmente penetrantes, por lo que no se pudo determinar la profundidad real del basamento hidrogeológico y que para efectos del modelo numérico se tuvo que asumir tomando en consideración el pozo de mayor profundidad (120 m). De estos registros se trazaron 3 perfiles longitudinales y 2 transversales para las zonas de Llano Grande y Santa Clara, para la parte sur de la cuenca Jinotega se trazaron 2 perfiles transversales basados en la observación de afloramientos y supuestos ya que no se contaba con registro de pozos. Anexo B.

El medio hidrogeológico en la microcuenca Santa Clara está compuesto por sedimentos de diferente granulometría como arcillas, limo, arena fina y gruesa, gravas y bolones, lo que se determina como un acuífero heterogéneo. La capa de arena gruesa, gravas y bolones tiene un espesor aproximado de entre 15 y 30 m., esta capa esta intercalada en su parte superior por suelo limo arcilloso con lentes de arena fina, y en la capa inferior por limotita y arcillas, lo que le da un carácter de semiconfinamiento. Ver figura 4.3a.

El medio hidrogeológico en la microcuenca Jinotega, tiene carácter heterogéneo por la composición litológica de los sedimentos, la parte acuífera esta compuesta por arena y gravas en forma de cuña con un espesor aproximado de 12 m y de poca extensión, en estado de semiconfinamiento, se localiza también en las capas superiores un acuífamiento de arena y gravas con un espesor aproximado de 19 m. Como se puede notar en la Figura 4.3b, los espesores acuíferos de Llano grande son pobres en relación a los de Santa Clara.

En ambos casos las rocas fracturadas que se encuentran subyaciendo a estos sedimentos constituyen la parte acuífera de mayor importancia, debido a que la permeabilidad secundaria es alta. La composición litológica de estas rocas es ignimbrita dacítica y andesitas basálticas según registro de pozos y en algunos casos para la parte de Llano Grande no tocaron roca.

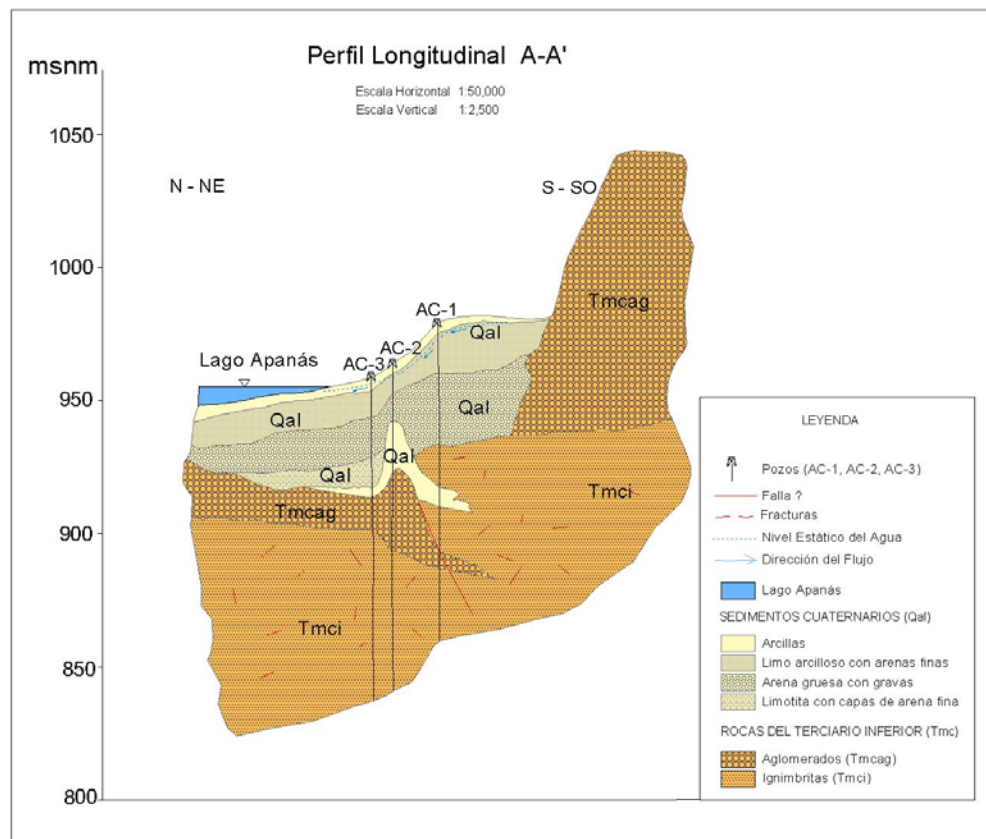


Figura 4.3a.- Perfil Hidrogeológico Longitudinal Microcuenca Santa Clara.

Por: J. Ruiz, 2002.

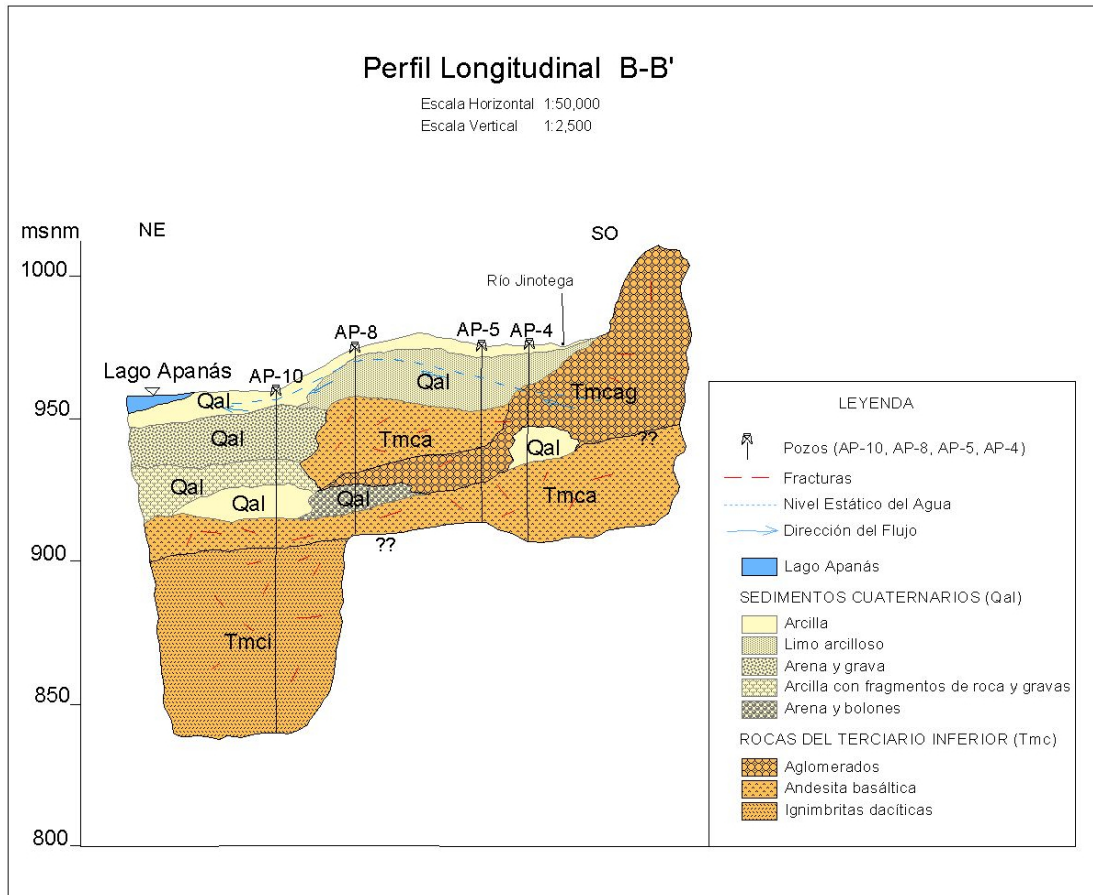


Figura 4.3b.- Perfil Hidrogeológico Longitudinal Microcuenca Jinotega - Llano Grande.

Por: J. Ruiz, 2002.

4.2.2 Parámetros Hidráulicos del Acuífero

Los parámetros analizados en el Acuífero Apanás fueron la conductividad hidráulica (K), la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S). Estos parámetros fueron obtenidos mediante el análisis de pruebas de bombeo de corta y larga duración correspondiente a los pozos AP-6, AP-8, AP-10, AC-1, AC-2 y AC-3, estas pruebas de bombeo fueron practicadas por ENACAL (GKW, 1999).

Las curvas de los datos tiempo-abatimiento de las pruebas se presentan en el Anexo C, correspondiente a 6 pozos de bombeo (AP-6, AP-8, AP-10, AC-1, AC-2,

AC-3). En la tabla 4.1 se presentan los valores de transmisividad para cada pozo, al igual que los valores de conductividad hidráulica correspondiente a las pruebas de bombeo.

Con lo expuesto anteriormente, se determinó el coeficiente de almacenamiento mediante los datos obtenidos de los pozos de observación AC-1 dando como resultado $S = 4.7 \times 10^{-4}$ y AC-2 $S = 2.5 \times 10^{-4}$ de la microcuenca Santa Clara lo que permite asegurar que el acuífero se encuentra en estado de semiconfinamiento. Se asumió ese valor para toda el área de estudio ya que no se contaba con otro pozo de observación que permitiera estimar el coeficiente de almacenamiento en la microcuenca Jinotega donde se encuentran los pozos AP.

En la Tabla 4.1 se hace un consolidado de los resultados de los parámetros obtenidos del análisis de las pruebas de bombeo.

Tabla 4.1- Parámetros Hidráulicos de las Microcuencas Jinotega y Santa Clara.

Método	Pozo	Caudal (m³/día)	Parámetros Hidráulicos		
			T (m²/día)	K (m/día)	S
Microcuenca Jinotega					
Cooper-Jacob	AP-6	453.52	359	6.98	-
	AP-8	506.94	120	2.01	-
	AP-10	1253.73	193	1.64	-
Microcuenca Santa Clara					
Cooper-Jacob	AC-1	2815.55	2730	23.9	4.7 * 10 ⁻⁴
	AC-2	3168.12	1060	9.1	2.5 * 10 ⁻⁴
	AC-3	3168.12	562	4.8	-

4.2.3-Balance Hídrico

El objetivo de realizar el balance hídrico de suelo es el de analizar y establecer las entradas y salidas de agua en un área determinada; la recarga del acuífero está dada por la precipitación.

El sistema de drenaje del área de estudio está compuesto por el río Jinotega con una longitud de su cauce principal aproximado de 14,970 m y sus afluentes, los cuales no mantienen caudal base durante todo el año. Hasta el año 2003 las aguas negras de la ciudad desaguaban al río aportando un caudal de 0.45 m³/seg ó 38,880 m³/día al Lago Apanás.

La quebrada Santa Clara tiene su nacimiento en Fila Alemania, tiene una longitud aproximada de 5,690 m, mantiene un caudal base todo el año de 0.19 m³/seg o sea 16,416 m³/día, lo que finalmente sirve de aporte al Lago Apanás. La Figura 4.4 representa la comparación del aporte en m³/día del sistema de drenaje hasta el año 2003.

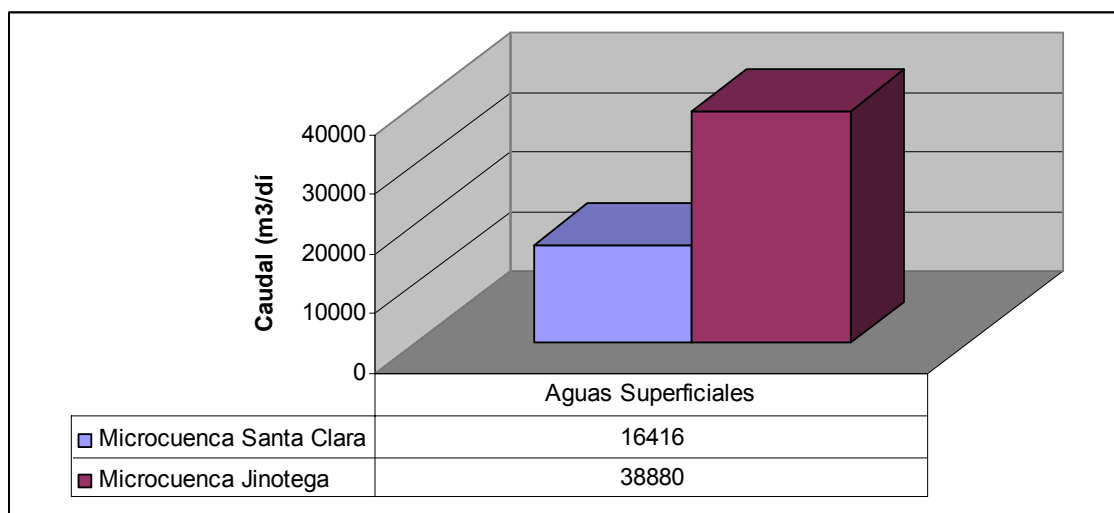


Figura 4.4.- Comparación de Caudales del Sistema de Drenaje.

El lago Apanás de origen artificial, cuenta con un área aproximada de 36.4km^2 , la que está en dependencia de las fluctuaciones del nivel del agua del mismo con los cambios estacionales. Fue creado específicamente para embalsar las aguas para la hidroeléctrica Centroamérica. Hasta el año 2003 se descargaba a través del río Jinotega las aguas negras de la ciudad, las que posteriormente se depositaban al lago sin previo tratamiento, hoy en día se cuenta con una planta de tratamiento lo que garantiza la reducción de la contaminación al lago, lo cual es muy importante mantener por encontrarse en su ribera el campo de pozos que abastece de agua potable a la población de Jinotega. Los ascensos del nivel del Lago Apanás están estrechamente ligados con las temporadas de lluvia en la región a como se puede ver en la Figura 4.5 donde se hace una comparación de los niveles del Lago Apanás y las precipitaciones durante todo el año.

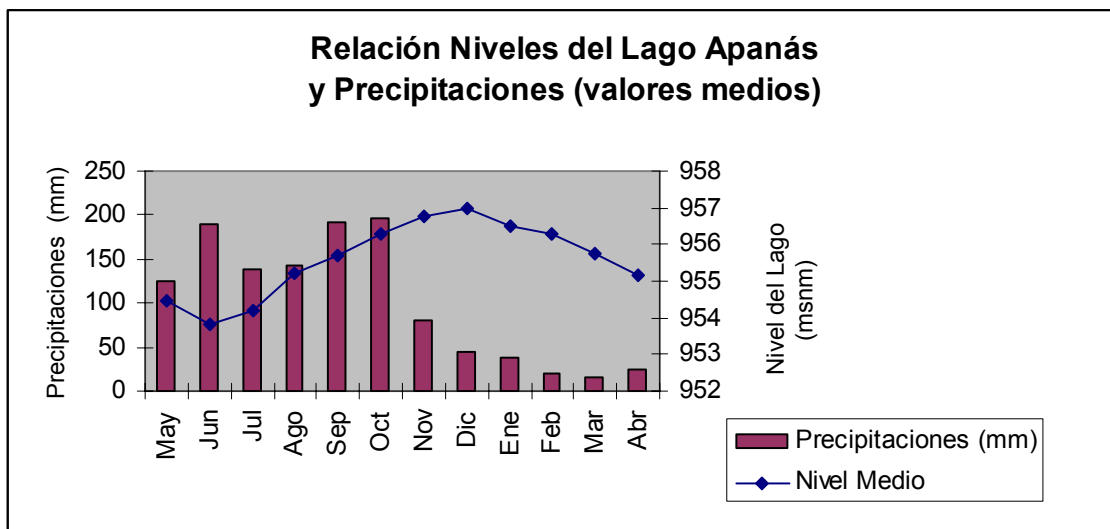


Figura 4.5.- Relación Niveles del Lago Apanás y Precipitaciones.

La recarga del acuífero es una de las salidas de humedad del suelo que se analiza por medio del balance de humedad de suelos, el cual involucra para su determinación los componentes básicos del ciclo hidrológico (precipitación, evapotranspiración e infiltración), además de los principales grados de humedad del suelo (capacidad de campo, y punto de marchites) y de la profundidad de

raíces de las plantas, considerada como la profundidad donde suceden los cambios de humedad.

4.2.3.1 Precipitación Efectiva

La precipitación efectiva se considera como la porción pluvial que logra infiltrarse en el suelo y que se encuentra disponible para ser utilizada por las raíces de las plantas o para recargar al acuífero (Pacheco,1981).

Existen varios factores que afectan la precipitación efectiva: a) Intensidad de la precipitación, b) la velocidad de infiltración en el suelo, c) la cobertura vegetal y d) la topografía. Con base a estos factores existen diversos métodos basados en fórmulas para calcular la precipitación efectiva.

Para el cálculo del coeficiente de infiltración se utilizó la fórmula de correlación estadística (Shosinsky & Losilla,1998), en la cual f_c es el factor principal que condiciona la cantidad de precipitación pluvial que puede infiltrarse. Esta capacidad de infiltración depende básicamente de las características físicas del suelo como lo son la textura, estructura, compacidad y el contenido de humedad.

La fórmula de la capacidad de infiltración aplicada es la siguiente, si $\% P_i > 1$, entonces $P_i = 1$.

$$\%P_i = (-2.74 * 10^{-5} f_c + 0.2284)\ln(f_c) + 0.000159f_c - 0.586$$

Donde:

%Pi – porcentaje que se infiltra de la precipitación en tanto por uno

fc - capacidad de infiltración básica (mm/ día)

Para determinar el fc , se realizaron pruebas de infiltración en las dos zonas de cada microcuenca representadas en la Figura 4.6, utilizando el método Porchet. En la Tabla 4.2a, se muestra para cada una de las microcuencas, las zonas del área en estudio, los valores de capacidad de infiltración básica (fc) y el índice de infiltración (Pi) obtenidos.

Tabla 4.2a.- Valores de Capacidad de Infiltración (fc) e Índice de Infiltración (Pi)

Zonas	Textura del Suelo	Fc (mm/día)	Pi (%)
Microcuenca Jinotega			
Zona 1	Arcilloso	590.46	0.862
Zona 2	Franco-arcilloso	203.53	0.6308
Zona 3	Franco	447.21	0.80425
Microcuenca Santa Clara			
Zona 1	Arcilloso	1101.60	0.97756
Zona 2	Franco-arcilloso	203.53	0.6308

Una vez obtenidos los porcentajes de infiltración, se procedió a realizar el cálculo de la precipitación efectiva Tabla 4.2b, multiplicando dicho porcentaje por la precipitación pluvial media mensual del período 1952 – 2001 (Anexo A, Tabla A-1). Los valores de precipitación pluvial corresponde a la estación meteorológica Jinotega, la cual se encuentra en la ciudad.

$$P_e = P_m * P_i$$

Donde:

P_m - precipitación media mensual (mm)

P_i - precipitación que infiltra (mm)

En el Tabla 4.2b, se presentan los valores de precipitación efectiva calculados para cada una de las microcuencas del área de estudio.

Tabla 4.2b.- Valores de Precipitación Efectiva (mm)

Zonas		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)		39.0	20.8	15.4	24.7	126	190.7	139.4	141.8	191.2	196.3	80.9	44.8
Microcuenca Jinotega													
1	P_i (mm)	33.62	17.93	13.28	21.29	108.62	164.4	120.17	122.24	164.82	169.2 2	69.74	38.62
	P_e (mm) 2	1311.	372.94	204.51	525.86	13686	31349	16752	17334	31514	33218	5642	1730.
2	P_i (mm)	24.60	13.12	9.72	15.58	79.49	120.3	87.94	89.45	120.62	123.84	51.04	28.26
	P_e (mm)	959.4	272.9	149.7	384.8	10016	22941	12259	12684	23063	24310	4129	1266
3	P_i (mm)	31.37	16.73	12.39	19.87	101.34	153.3 7	112.1 1	114.04	153.77	157.88	65.06	36.03
	P_e (mm)	1223	347.9 8	190.8	490.7 9	12769	29248	15628	16171	29401	30992	5263	1614
Microcuenca Santa Clara													
1	P_i (mm)	38.12	20.33	15.05	24.15	123.17	186.4 2	136.2 7	138.62	186.91	191.90	79.08	43.79
	P_e (mm)	1487	422.8 6	231.7 7	596.5	15519	35550	18996	19656	35737	37670	6398	1962
2	P_i (mm)	24.60	13.12	9.72	15.58	79.49	120.3 0	87.94	89.45	120.62	123.84	51.04	28.26
	P_e (mm)	959.4	272.9	149.7	384.8	10016	22941	12259	12684	23063	24310	4129	1266

4.2.3.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración es el resultado de la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas, pero solo es aplicable en un área de terreno que contenga cubierta vegetal. En términos generales, la evapotranspiración depende de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad del suelo y del desarrollo vegetal de la planta (Custodio & Llamas, 2001).

a) Evapotranspiración potencial (ETP): es la máxima cantidad de agua que puede perder como vapor de agua, en un clima determinado, una superficie cubierta de vegetación, cuando el suelo está saturado (Naciones Unidas, 1972). En general, la ETP se considera como el 80 % de la evaporación del tanque evaporímetro Weather Bureau Tipo A.

$$\text{ETP} = (0.8) * (\text{evaporación de pana})$$

En general la Tabla 4.3, presenta los valores de ETP calculados utilizando los valores de evaporación del tanque (mm) de la estación Jinotega, correspondientes al período de años 1970-2001. La evaporación total promedio de estos años fue de 101.67 mm, con un valor de 4.24 mm/día.

b) Evapotranspiración real (ETR): es la suma de las cantidades de agua evaporada de las superficies de agua y el suelo húmedo, más aquella transpirada por las plantas y usada para crecimiento con el suelo en las condiciones actuales de humedad (Naciones Unidas 1972). En el balance hídrico realizado, la relación ETR/ETP es una diferencia entre el contenido de humedad correspondiente a la capacidad de campo y el contenido de humedad del suelo.

Tabla 4.3-Valores de Evapotranspiración Promedios(1970-2001)

Mes Parámetros	Evaporación de Pana (mm)	ETP (0.8*evp) (mm)
Enero	97.2	77.76
Febrero	110.0	88.00
Marzo	146.0	116.80
Abril	147.3	117.84
Mayo	107.5	86.00
Junio	83.4	66.72
Julio	89.1	71.28
Agosto	93.7	74.96
Septiembre	85.3	68.24
Octubre	90.9	72.72
Noviembre	79.5	63.60
Diciembre	90.2	72.16

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)- Dirección General de Meteorología - 2001

4.2.3.3 Infiltración

La capacidad de infiltración de suelos fue determinada por el método de Porchet, tomando como base la geología superficial y el tipo de suelo, en la cual se determinaron tres zonas para la microcuenca Jinotega y dos zonas para la microcuenca Santa Clara.

Las pruebas de infiltración (3,4,5,6,7,8,9) no alcanzaron el valor de infiltración básica f_c , por lo que se utilizó el método desarrollado por Schosinsky (1998). Ver hoja de cálculo en Anexo C, Tabla C-15.

La Figura 4.6 presenta la ubicación de los sitios donde se realizaron las pruebas de infiltración y en la Figura 4.7 se muestra el comportamiento de cada prueba hasta su estabilización. En la Tabla 4.4 se hizo un resumen por zonas con los valores de capacidad de infiltración (f_c) y textura del suelo obtenida de la tabla de propiedades del suelo elaborada por el Centro Interamericano de Desarrollo e

Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), presentada en el Anexo C, Tabla C-14.

Para la zona I de las microcuencas Jinotega y Santa Clara, se realizaron siete pruebas de infiltración en total: cinco en cultivos agrícolas con un promedio del f_c de 3.27 cm/hora, y dos en pasto natural con un promedio del f_c de 2.97 cm/hora. La clasificación de la textura del suelo para esta zona es arcilloso.

En la zona II de la microcuenca Jinotega y Santa Clara, se realizó una prueba de infiltración la cual se localiza en rocas del Terciario, en dirección Este de la ciudad cerca de la carretera, en pasto natural con un promedio del f_c de 0.85 cm/hora. La clasificación de la textura del suelo es franco-arcilloso.

La zona III localizada en la microcuenca Jinotega, hacia el Oeste de la ciudad, pertenece a las rocas de edad Terciaria y con suelos franco; se practicó una prueba de infiltración dando un promedio del f_c de 1.86 cm/hora. El uso del suelo es de pasto natural.

Tabla 4.4- Valores de fc Obtenidos de las Pruebas de Infiltración

Zonas	Textura del Suelo	Capacidad de Infiltración (fc) (cm/hora)
MICROCUENCA RÍO JINOTEGA		
Zona I	Arcilloso	1.95
		2.97
Zona II	Franco-arcilloso	0.85
Zona III	Franco	1.86
MICROCUENCA QUEBRADA SANTA CLARA		
Zona I	Arcilloso	4.59
Zona II	Franco-arcilloso	0.85

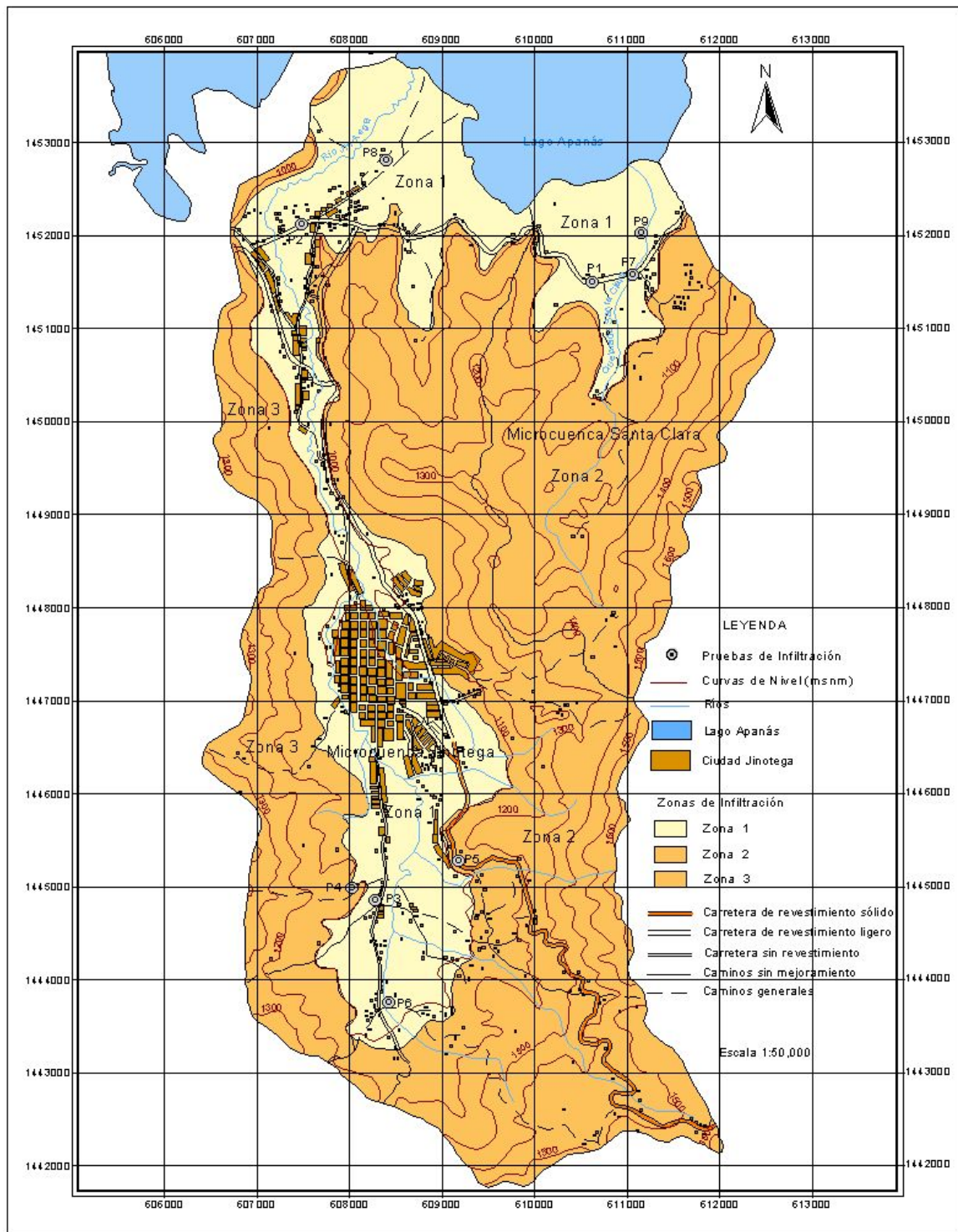


Figura 4.6 - Mapa de Zonificación y Puntos de las Pruebas de Infiltración.

Por: J. Ruiz, 2002.

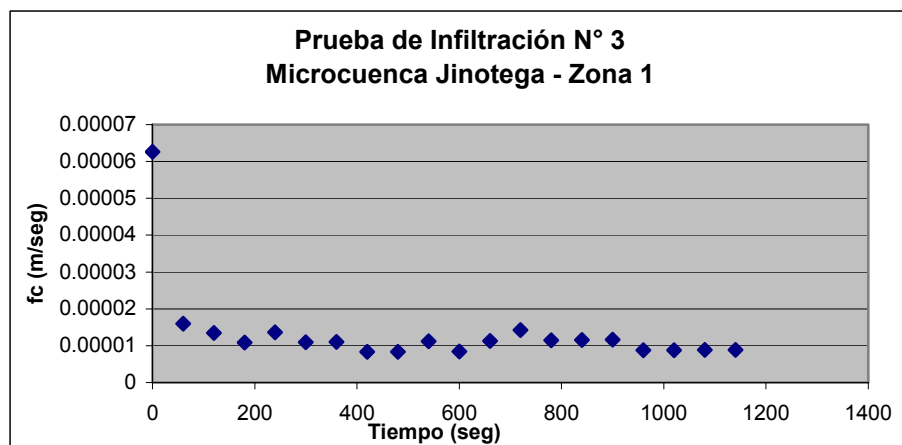
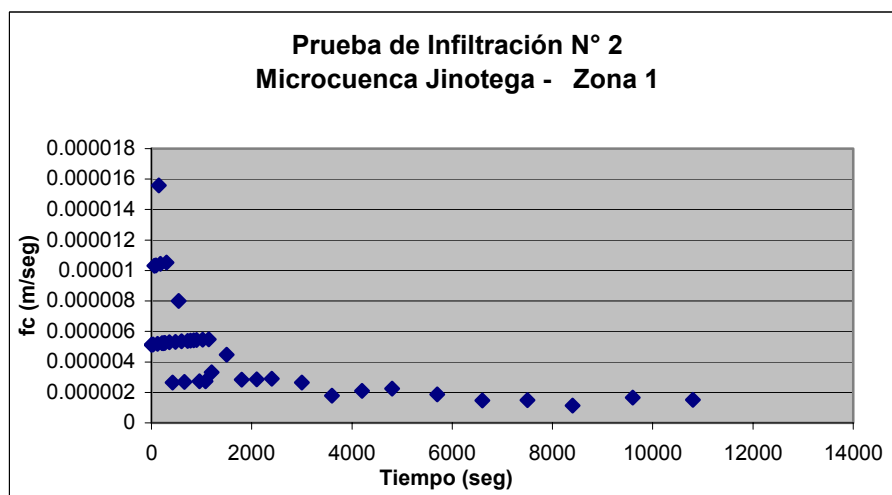
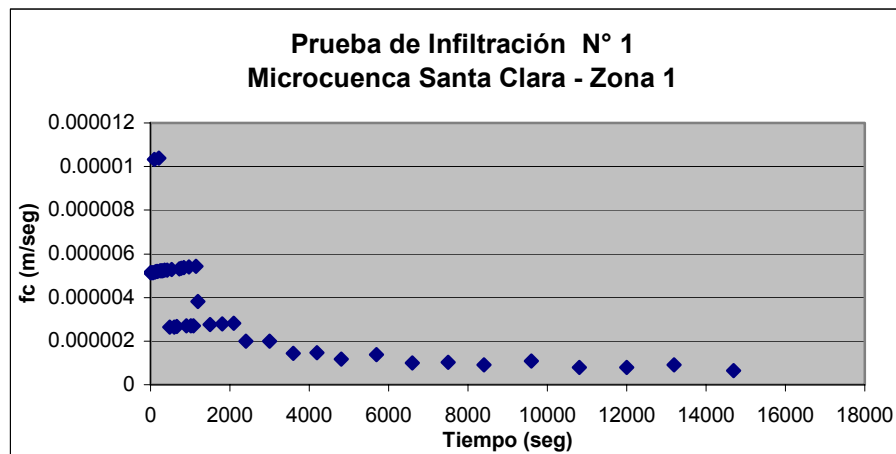


Figura 4.7 Prueba de Infiltración.

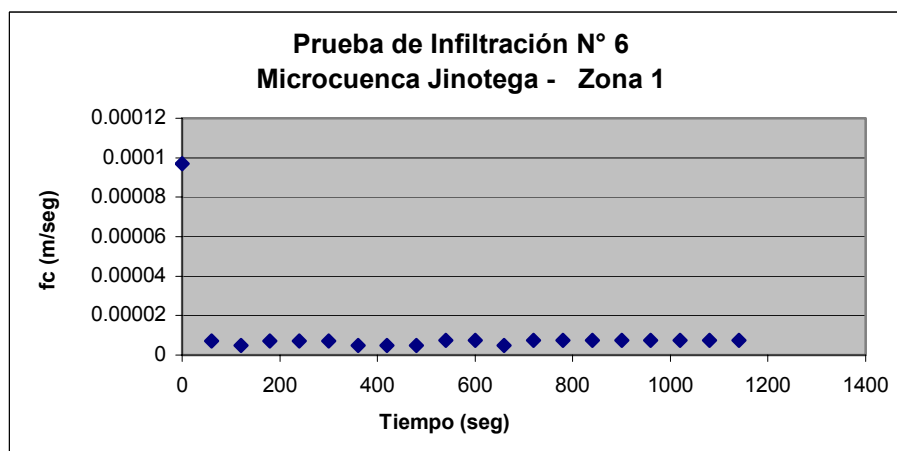
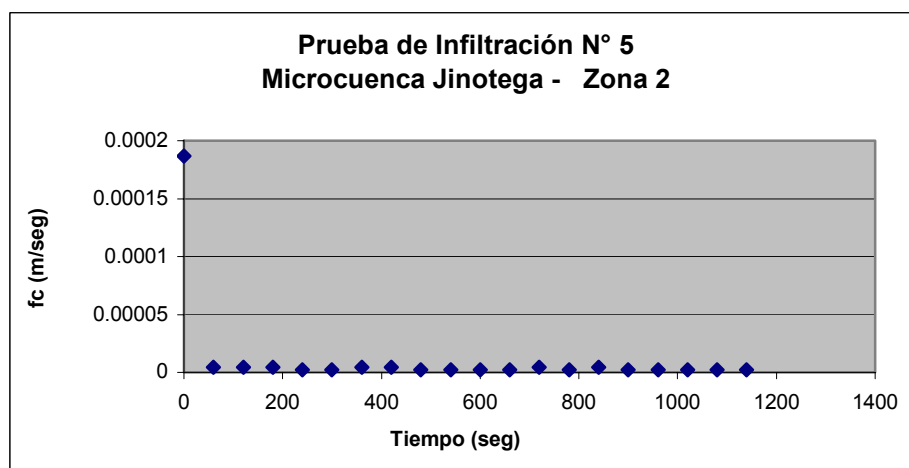
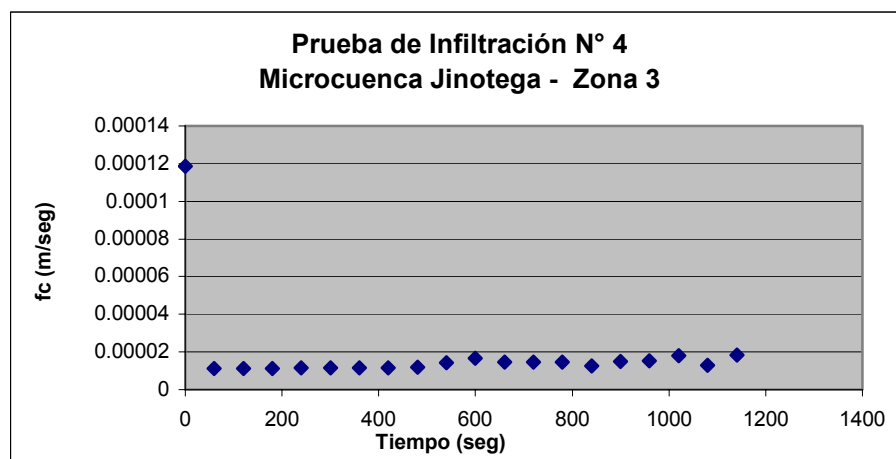


Figura 4.7 Prueba de Infiltración. (continuación)

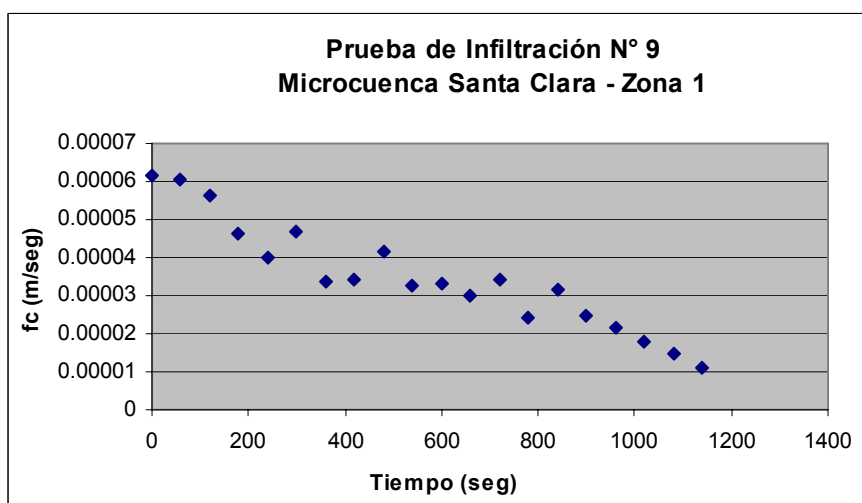
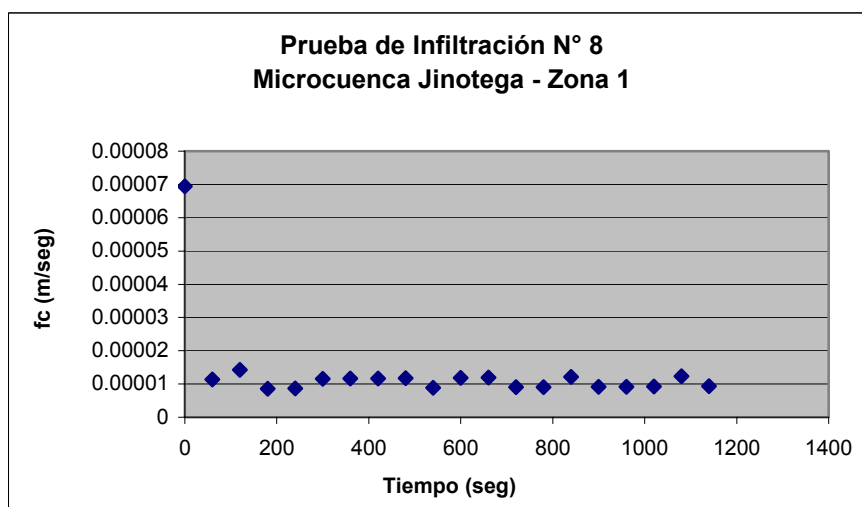
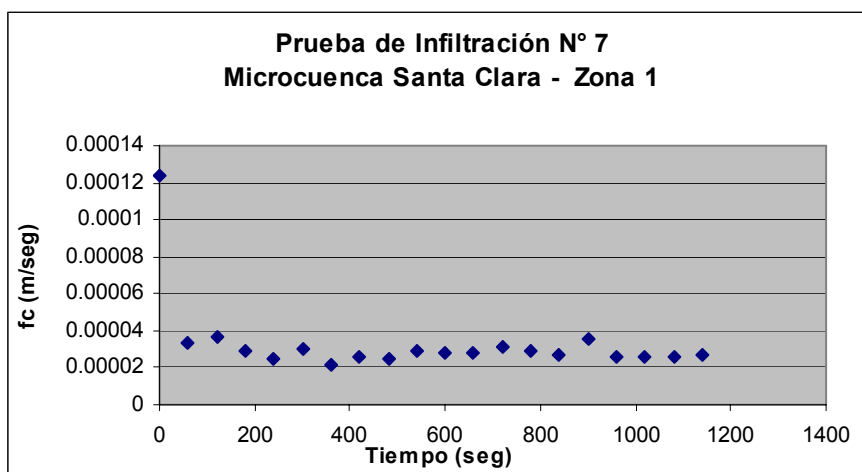


Figura 4.7 Prueba de Infiltración. (continuación)

4.2.3.4 Contenido de Humedad del suelo

Los valores de contenido de humedad del suelo característico son: Capacidad de campo y punto de marchites. Estos valores se pueden obtener mediante análisis de suelo en laboratorio o a través de tablas de las propiedades de los suelos conociendo la capacidad de infiltración de los mismos.

Luego de haber analizado las pruebas de infiltración, y con ayuda de la tabla de propiedades físicas de suelo (Anexo C), se escogieron los valores medios recomendados para punto de marchites (PM), Capacidad de Campo (CC) y densidad aparente del suelo (ρ_a). Estos valores se presentan en la Tabla 4.5 y se encuentran expresados en porcentajes por peso seco. Para convertirlos a lámina de agua (mm), es necesario la aplicación de la siguiente expresión:

$$\text{Humedad (mm)} = \text{Humedad (\%)} \times \text{prof. Radicular (mm)} \times \text{densidad del suelo (gr/nm}^3\text{)}/100$$

Tabla 4.5- Valores de Capacidad de Campo, Punto de Marchites, Densidad Aparente y Profundidad Radicular

Zonas	Tipo de Suelo	Densidad de Suelo (gr/nm³)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchites (%)	Profundidad de Raíces (mm)
Zona 1	Arcilloso	1.25	35	17	1500
Zona 2	Franco-arcilloso	1.35	27	13	1500
Zona 3	Franco	1.4	22	10	1300

4.2.4 Recarga

El presente estudio considera la recarga por lluvia, recarga de retorno, por que la zona además de tener una estación principal con muchos años de registro, la población no ha tenido alcantarillado sanitario. El proceso por el cual ocurre la recarga de lluvia se llama infiltración y recarga de retorno es toda aquella agua extraída del acuífero que de alguna forma llega de nuevo al mismo.

Para realizar el balance de humedad de suelos y estimar la recarga por infiltración de lluvia, la microcuenca del río Jinotega se dividió en tres zonas y la microcuenca de la quebrada Santa Clara en dos zonas, tomando en cuenta la geología superficial, topografía, uso actual del suelo y tipo de suelos, en la Figura 4.6 se dividen las zonas para las pruebas de infiltración las mismas se tomaron para la recarga.

Microcuenca Jinotega

Zona 1 - Aluviones de edad Cuaternario cuenta con un área de 12.82 km^2 y una elevación promedio de 1020 msnm. Presenta suelos arcillosos con pendientes menores del 2%, la profundidad de las raíces es de 15 cm..

Zona 2 - Rocas de edad Terciaria con un área de 17.93 km^2 y una elevación promedio de 1300 msnm. Con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Los suelos son arcillosos y oscilan entre 2 m y 75 cm de espesor, no tienen contacto lítico en 50 cm de suelo, la profundidad de las raíces es de 15 cm. .

Zona 3 – Rocas de edad Terciaria tiene un área de 7.14 km² con una elevación promedio de 1200 msnm. Presenta suelos franco con profundidad muy superficial, hay presencia de afloramientos rocosos en más del 90% del área.

Microcuenca Santa Clara

Zona 1 - Aluviones de edad Cuaternario cuenta con un área de 2.37 km² y una elevación promedio de 980 msnm. Presenta suelos arcillosos con pendientes menores del 2%, la profundidad de las raíces es de 15 cm..

Zona 2 - Rocas de edad Terciaria con un área de 9.24 km² y una elevación promedio de 1350 msnm. Con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Los suelos son arcillosos y oscilan entre 1 m y 75 cm de espesor, no tienen contacto lítico en 50 cm de suelo, la profundidad de las raíces es de 15 cm. .

La Figura 4.6 muestra el mapa de zonificación del área en estudio para el balance hídrico de suelos y los sitios de las pruebas de infiltración de acuerdo a la geología y al tipo de suelo.

4.2.4.1 Recarga Potencial

Después de haber obtenido los valores de precipitación efectiva, evapotranspiración potencial y los contenidos de humedad (capacidad de campo y punto de marchites, se procedió al cálculo de la recarga potencial, la cual es producida por infiltración directa de la precipitación.

La implementación del balance de humedad de suelos para el cálculo de la recarga potencial, se inicia en el mes de marzo (mes más seco), la que se toma como humedad inicial del suelo en capacidad de campo, debido a que la humedad final del suelo para el mes de marzo está en el punto de marchites.

Para la microcuenca Jinotega, la recarga potencial en la zona 1 es de 194.86 mm/año, la mayor parte del agua que precipita no se infiltra, sino que es transportada hacia el Lago Apanás a través del río Jinotega; la zona 2 de 46.42 mm/año y la zona 3 de 216.81 mm/año; la forma por la cual se infiltra el agua es a través de las fracturas y grietas de las rocas y la mayor parte se va como escorrentía por las pendientes escarpadas hacia el río Jinotega; dando un promedio para toda la microcuenca de 152.7 mm/año.

La microcuenca Santa Clara tiene una recarga potencial para la zona 1 de 302.56 mm/año, y para la zona 2 de 46.42 mm/año, dando un promedio para toda la microcuenca de 174.49 mm/año. El comportamiento de esta microcuenca es similar a la del río Jinotega, solo que en la zona 1 la infiltración del agua es un poco mayor debido a lo llano de la zona y la corta trayectoria del agua. Los valores de recarga potencial de las zonas del área en estudio se presentan en las hojas de cálculo para el balance hídrico de suelo, Anexo C.

4.2.4.2 Recarga de Retorno

Para el cálculo de la recarga de retorno se ha tomado en consideración los valores estimados para los países en vías de desarrollo en la cual estas fugas oscilan entre el 40 y 60% (WASTWATER International, 1995 en Espinoza,1999). En la actualidad la ciudad de Jinotega tiene terminado el sistema de alcantarillado sanitario planificado, pero no cubre el valle por lo que las aguas negras de una

parte de la ciudad son vertidas en el río Jinotega, las que posteriormente se infiltra.

En Nicaragua no se cuenta con una evaluación exacta de las pérdidas de agua por efecto de fugas en el sistema de abastecimiento, la recarga de retorno se asumió en un 30% del total de agua abastecida por el consumo per cápita igual a un promedio de 0.2 m³/d (Espinoza, 1999).

4.2.4.3 Recarga Total

La recarga total del acuífero es la sumatoria de todas las recargas calculadas (directa, retorno), de las dos microcuencas que conforman el área de estudio. La recarga lateral es poca debido a las fuertes pendientes. En la Tabla 4.7, se presentan los valores de recarga potencial para las microcuenca Jinotega y Santa Clara por zonas, y recarga de retorno.

Tabla 4.7.- Recarga Total del Acuífero

Localización	Zonas	Área (m ²)	Recarga Potencial (m ³ /año)	Recarga (m ³ /año)	Recarga (MMC/año)
Microcuenca Jinotega	1	11183000	0.19486	2179119.38	2.18
	2	20088000	0.04642	932484.96	0.93
	3	6859000	0.12681	1487099.79	1.49
Microcuenca Santa Clara	1	2347000	0.30256	710108.32	0.71
	2	9303000	0.04642	431845.26	0.43
Retorno				3917	0.004
Total				5744574.71	5.74

4.2.5 Extracciones de Agua Subterránea

El área de estudio tiene una existencia de 18 pozos perforados y aproximadamente 500 pozos excavados particulares y algunos de la Aguadora de Jinotega; están destinados para diferentes usos (doméstico, riego, ganadería, sin uso y abandonados). La mayoría de estos pozos excavados en la actualidad se encuentran secos y sin uso. La Figura 4.8 muestra el inventario de pozos realizado en el 2002, donde se incluye solamente a los pozos que mantienen agua durante todo el año.

Microcuenca del Río Jinotega

En la parte alta de esta microcuenca se encuentra la menor cantidad de pozos excavados debido a que el espesor de los aluviones es pequeño (1-2 metros) y predominan las rocas andesíticas del Terciario. La mayor cantidad de los pozos excavados se encuentra en la ciudad de Jinotega y zonas aledañas (parte central); aquí se encuentran 4 pozos perforados los cuales abastecían de agua a la ciudad de Jinotega (San Cristóbal, Rastro Viejo, Linda Vista, Parque central), se incluyen 2 pozos perforados comunales (Carlos Rizo y Villa Norte) y dos excavados (Infonac 3 y 4) . De todos estos pozos no se cuenta con ninguna información litoestratigráfica que nos pueda indicar con exactitud el tipo de material geológico existente a excepción del pozo perforado Parque Central.

En la parte baja de la microcuenca (Llano Grande) existe una cantidad considerable de pozos excavados particulares y 3 pozos perforados (AP-4, AP-5, AP-6) que complementaban la demanda de agua para la ciudad y auto consumo de esa zona. En esta parte se encuentra el campo de pozos Apanás los que en la actualidad están abasteciendo de agua potable a la ciudad de Jinotega (AP-6, AP-8 y AP-10).

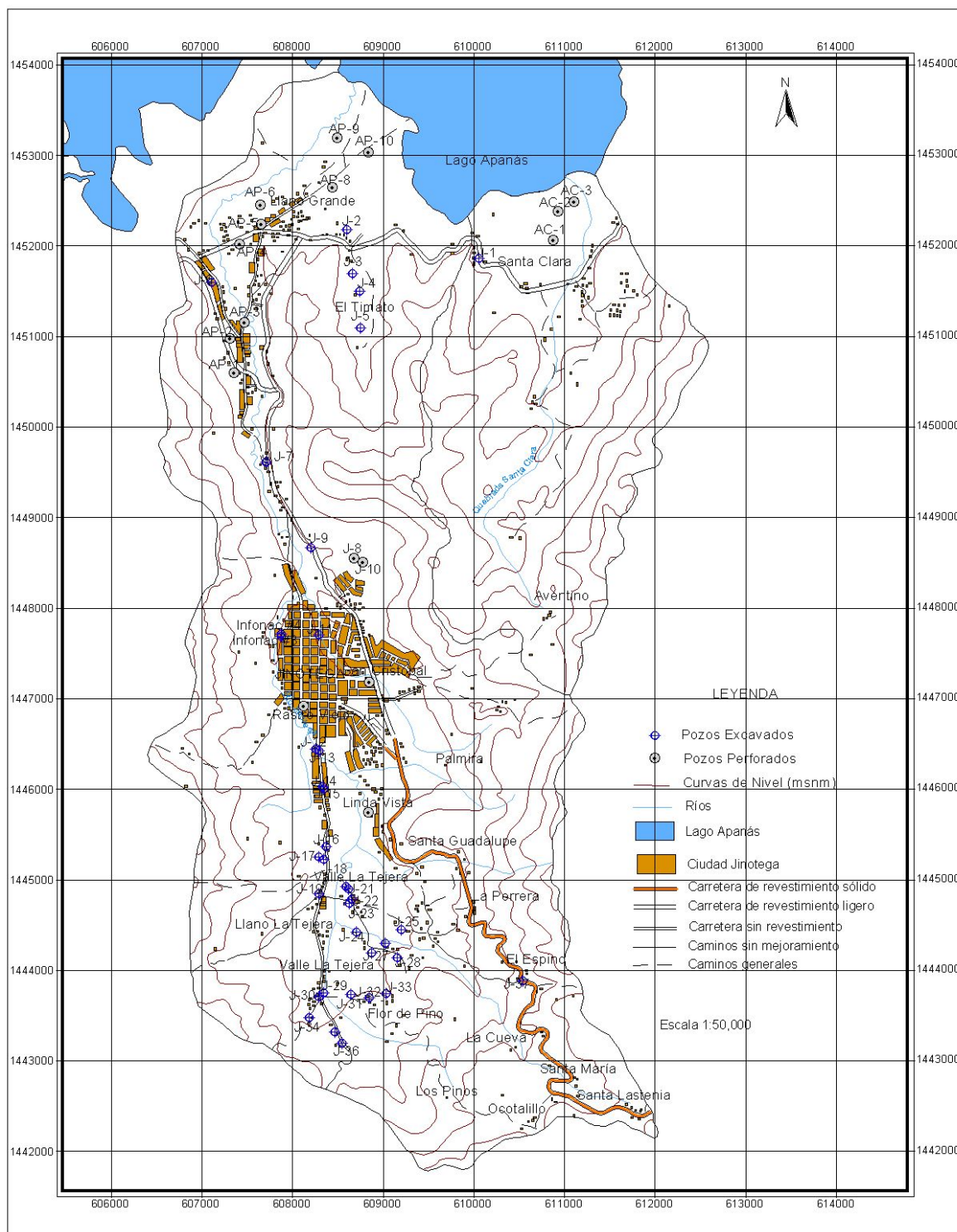


Figura 4.8.- Mapa de Inventario de Pozos del Área de Estudio.

Por: J. Ruiz, 2002.

Microcuenca Quebrada Santa Clara

La zona Los Comalitos – Santa Clara es una planicie desarrollada entre las costas del lago Apanás y las montañas que conforman el borde occidental de la depresión. En este sector se encuentra el campo de pozos Santa Clara que comprenden 4 pozos perforados (AC-1, AC-2, AC-3 y el AC-4 (no terminado)) y que complementan la demanda de agua potable para la ciudad de Jinotega . El pozo perforado AC-4 en estos momentos no esta integrado al sistema de abastecimiento porque servirá para cubrir la demanda futura. En esta microcuenca no existen pozos excavados; la población de este sector se abastece de manantiales, el agua es recepcionada por tuberías y posteriormente distribuida a los habitantes por gravedad.

En la actualidad la explotación del agua subterránea por pozos de extracción manual podría representar un 30% de los pozos de explotación debido que en la parte alta de la microcuenca del río Jinotega no se podrá abastecer de agua potable a la población porque el proyecto no cubre esa zona. En la Tabla 4.8 se muestra la producción actual en metros cúbicos por año de las dos microcuencas en estudio.

Tabla 4.8.- Producción de Aguas Subterráneas (Marzo 2004)

Pozos	Caudal Promedio (m³/día)	Promedio horas/día	Producción (m³/año)
Microcuenca Jinotega			
AP-1	18	3	6570
AP-5	360	12	131400
AP-6	60	6	21900
AP-8	374	17	136510
AP-10	714	17	260610

Microcuenca Santa Clara			
AC-1	1005	15	366825
AC-2	1080	15	394200
AC-3	1440	15	525600
Total	5051	12.5	1843615

4.2.6-Niveles y Movimiento del Agua Subterránea

Es muy importante mantener un control al menos mensual de las fluctuaciones de los niveles en el acuífero para evitar la inversión del gradiente hidráulico que induzca recarga del Lago Apanás. Esto provocaría graves daños a la única fuente de abastecimiento de agua potable para la población, ya que la calidad del agua del lago es dudosa producto al mal manejo de su cuenca.

Con la finalidad de conocer la variación del nivel del agua en el acuífero, se montó un sistema de monitoreo desde el 31-01-2002 hasta inicios de agosto del 2002. Estos datos solo se pudieron comparar con mediciones aisladas que realizaba Aguadora de Jinotega donde manifestaron ausencia de datos históricos. Ver Anexo C.

4.2.6.1 Líneas Equipotenciales y Dirección de Flujo

De acuerdo a los datos obtenidos de niveles estáticos de los pozos principales en época seca, se elaboró el mapa de isofreáticas (Figura 4.9) el que contiene las líneas equipotenciales y la dirección del flujo del agua subterránea. En los lugares donde no se tenía datos del nivel estático del agua subterránea (rocas del

Terciario), se tuvo que aproximar con las curvas de nivel ya que en esta área no existen pozos.

Las líneas equipotenciales tienen valores de 1200 a 960 msnm y la dirección del flujo con tendencia OE y EO, tomando finalmente rumbo S-N hacia el Lago Apanás; siguiendo el drenaje natural del río Jinotega y la quebrada Santa Clara, los que tienen la misma dirección.

Para calcular el valor del gradiente hidráulico de la microcuenca Jinotega se utilizaron las líneas equipotenciales 1200 y 995 con una distancia entre ambas de 5870 m; para la microcuenca Santa Clara se tomaron las equipotenciales 1010 y 960 con una distancia entre ambas de 1800 m.

$$i = \Delta h / L$$

Donde:

i - gradiente hidráulico

Δh - diferencia de carga hidráulica entre dos líneas equipotenciales

L - distancia entre las dos equipotenciales elegidas

El gradiente hidráulico de la microcuenca Jinotega es de 0.03 y para la microcuenca Santa Clara es de 0.027.

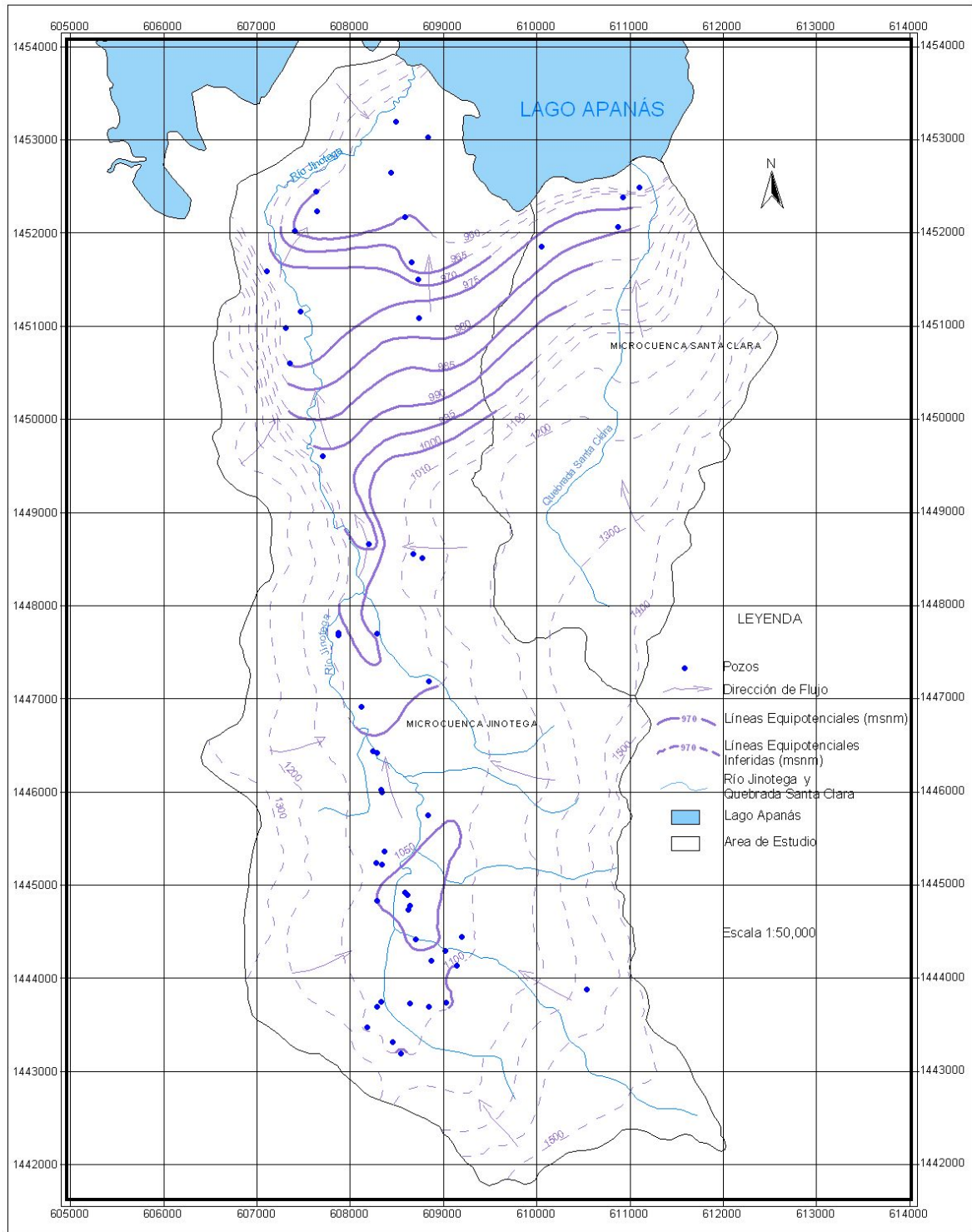


Figura 4.9.- Mapa Isofreáticas y Dirección de Flujo.

Por: J. Ruiz, 2002.

4.2.7-Relación Agua Subterránea y Agua Superficial

En el área de estudio existe una interrelación del agua superficial y el agua subterránea bien estrecha, sobre todo a través de la relación Lago Apanás - campo de pozos Santa Clara y Llano Grande, y río Jinotega- quebrada Santa Clara - acuífero.

En los resultados del muestreo bacteriológico y físico-químico realizado por la Lic. María Luisa Talavera (sin publicar), a las fuentes superficiales y subterráneas se demostró que los pozos ubicados cerca del río Jinotega (AP-6, Infonac 3 y 4) tienen altas concentraciones de bacterias y el tipo de agua resultante es típico de aguas recientemente infiltradas. No se pudo determinar con exactitud los tramos del río donde es influente, el cual se determina a través de aforos diferenciales.

En cuanto a la relación Lago Apanás – Campo de pozos, se presume que por encontrarse en la ribera del lago, el bombeo de los mismos pueda resultar en una inversión del gradiente hidráulico, por lo que es necesario mantener al lago libre de cualquier tipo de contaminación sino podría contaminar las aguas del acuífero.

4.2.8 Modelo Conceptual de flujo.

El modelo conceptual es la caracterización completa del acuífero. La conceptualización del sistema de flujo permite explicar en términos generales el comportamiento del acuífero el cual esta sujeto a una serie de acciones naturales y artificiales.

El área de estudio esta delimitada topográficamente como una subcuenca cerrada, la cual contiene la microcuenca Jinotega y la microcuenca Santa Clara,

interconectadas entre si por ser parte de restos de paleocalderas y del alto grado de fallamiento.

Las unidades hidroestratigráficas la conforman:

Unidad 1- Los depósitos aluviales del cuaternario (Qal) , constituidos por arcillas, arena, gravas, limo, bolones, limo arcilloso, limo arenoso. Estos depósitos aluviales presentan baja conductividad hidráulica (0.6 m/d) esto se debe al alto contenido de arcilla en la matriz, tienen un espesor aproximado de 50 a 77 m.

Unidad 2- los aglomerados, las andesitas, andesitas basálticas e ignimbritas dacíticas del Cuyol inferior – mioceno (Tmc) alteradas y fracturadas constituyen la unidad hidrogeológica que captan los pozos de explotación. Las andesitas basálticas presentan la mayor conductividad hidráulica por su alto grado de alteración y fracturamiento (9.3 m/d), le siguen las ignimbritas y aglomerados (4.6 m/d).

Basamento: el basamento hidrogeológico no se pudo determinar con exactitud, el reporte litológico de la perforación de los pozos de mayor profundidad (120 m) encuentra ignimbrita fracturada, lo que para efectos del modelo se tuvo que asumir el basamento a la profundidad de 120 m.

Los parámetros hidráulicos analizados dieron como resultado que la transmisividad en la microcuenca Jinotega oscila entre 120 y 359 m²/día y la Santa Clara con valores que oscilan entre 562 y 2730 m²/día esta última se considera alta, conductividad hidráulica para la microcuenca Jinotega oscila entre 1.64 a 6.98 m/día y para Santa Clara 4.8 a 23.9 m/día. El coeficiente de almacenamiento se calculó para Santa Clara y es de 2.5×10^{-4} a 4.7×10^{-4} , que lo clasifica como un acuífero semiconfinado.

El área de estudio, se considera que es del tipo semiconfinado debido a la composición de los aluviones con alto contenido de arcillas. Esto hace que exista una anisotropía o sea una diferencia entre la conductividad hidráulica horizontal y la vertical lo que indica que el flujo de agua subterránea es más horizontal que vertical.

La recarga de la microcuenca Jinotega es de 4598704.13 m³/año, la microcuenca Santa Clara tiene 1141953.58 m³/año; se estimó la recarga de retorno de forma general dando un valor de 3917 m³/año, para una recarga total de toda el área de estudio de 5744574.71 m³/año. Para las unidades hidrogeológicas la zona de recarga se presenta al sur de la cuenca donde afloran los aglomerados y las andesitas del Terciario pertenecientes al Grupo Coyol Inferior.

El flujo de aguas subterráneas de la microcuenca Jinotega primeramente tiene una orientación SO, SE, O-E y E-O, y posteriormente toma un rumbo S-N, la microcuenca Santa Clara tiene dirección NO – N con trayectoria a la zona de descarga hacia el lago Apanás.

El sistema de drenaje lo comprenden el río Jinotega, el cual no mantiene caudal base durante el todo el año y sirve de cauce principal de la escorrentía superficial en período lluvioso, y la quebrada Santa Clara, con un caudal base de 16,416 m³/día y que posiblemente aporta al acuífero parte de su agua a través de la fracturas de las rocas.

Se considera que al efecto del bombeo de los pozos por la alta transmisividad de los resultados de las pruebas de bombeo, se invierta el gradiente hidráulico del lago hacia el acuífero por presentar estos pocos espesores de las capas acuíferas.

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

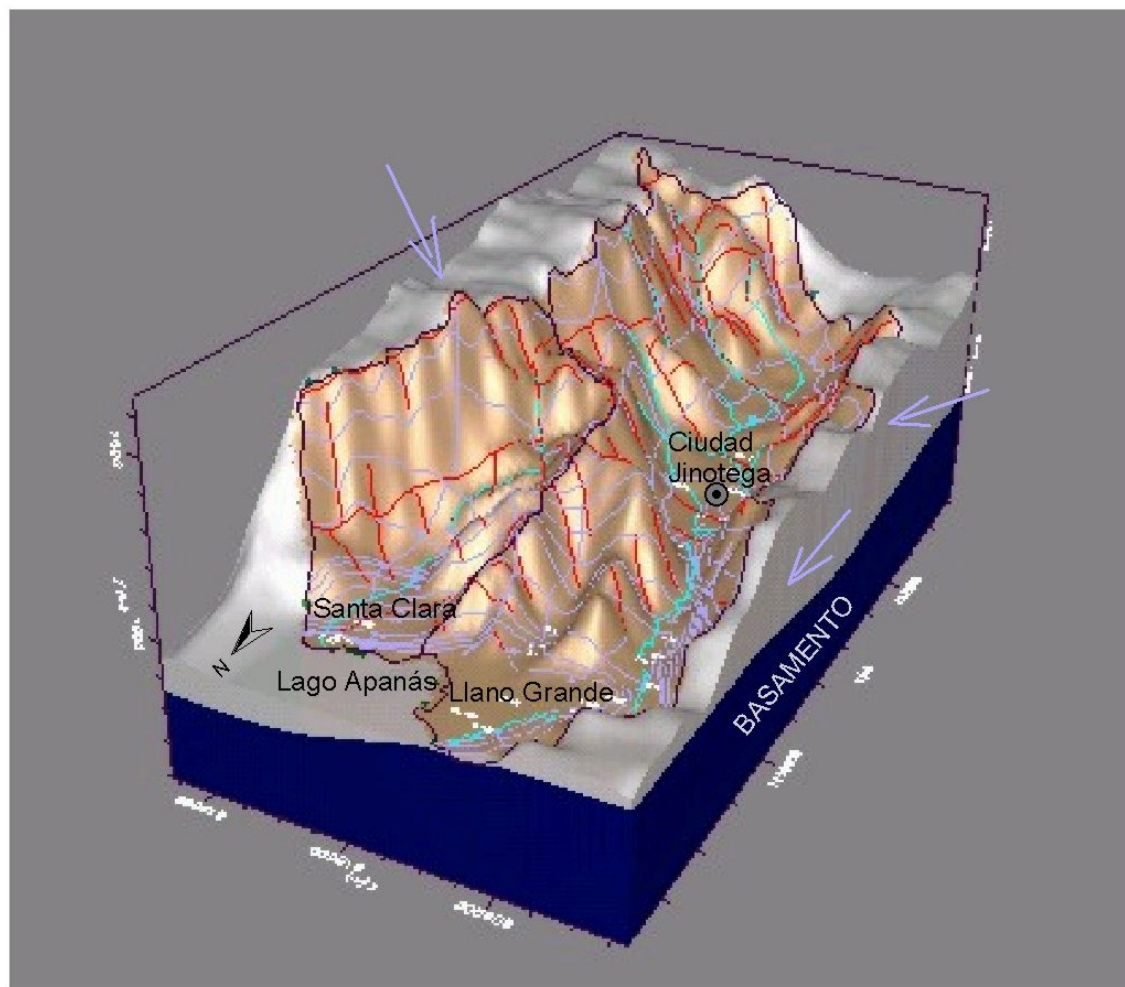


Figura 4.10.- Modelo Conceptual del Acuífero Jinotega.

Por: J. Ruiz, 2002.

4.3 MODELO NUMERICO

4.3.1 Diseño del Modelo

El modelo numérico necesita una serie de datos de entrada para representar las condiciones del acuífero. Entre los datos de entrada se pueden mencionar las condiciones de frontera o límites, parámetros hidráulicos, espesores de las capas geológicas, recarga directa y caudales de extracción de los pozos. Entre los datos de salida están la distribución de las cargas piezométricas y el balance de masa para el área analizada.

Los datos de parámetros hidráulicos y características del sistema, sintetizados en el modelo conceptual son transferidos al software del modelo matemático de la siguiente manera:

Para la delimitación de la frontera y propiedades del acuífero se utilizan los mapas bases de la zona en estudio importados en formato dxf y posteriormente se definen como entrada directa al modelo.

La elevación de las capas se definen a partir de los perfiles de los pozos y se pueden trasladar en formato *.txt, con columnas x,y,z o en formato *.grd, con los valores ya interpolados. Los pozos de observación se importan en formato txt, a diferencia de los pozos de explotación que son datos de entrada directa en el modelo, al igual que los ríos.

4.3.2 Dominio del Modelo

El dominio del modelo tiene una extensión de 49.78 km² , conformando la totalidad de la microcuenca hidrológica del río Jinotega y la quebrada Santa Clara. Para este efecto se discretizó el área de estudio en celdas de 100 x 100 m, abarcando en conjunto el área de captación superficial; la densidad de la malla asignada consistió de 64 filas, 121 columnas y 3 capas de las cuales la inferior representa el basamento del acuífero.

No se determinó mayor refinamiento en las zonas de interés debido a que se cuenta con poca información de las microcuencas en estudio. El espesor de la celda corresponde al espesor calculado de las capas del acuífero. La Figura 4.11 muestra la distribución de la malla y dominio del modelo en superficie.

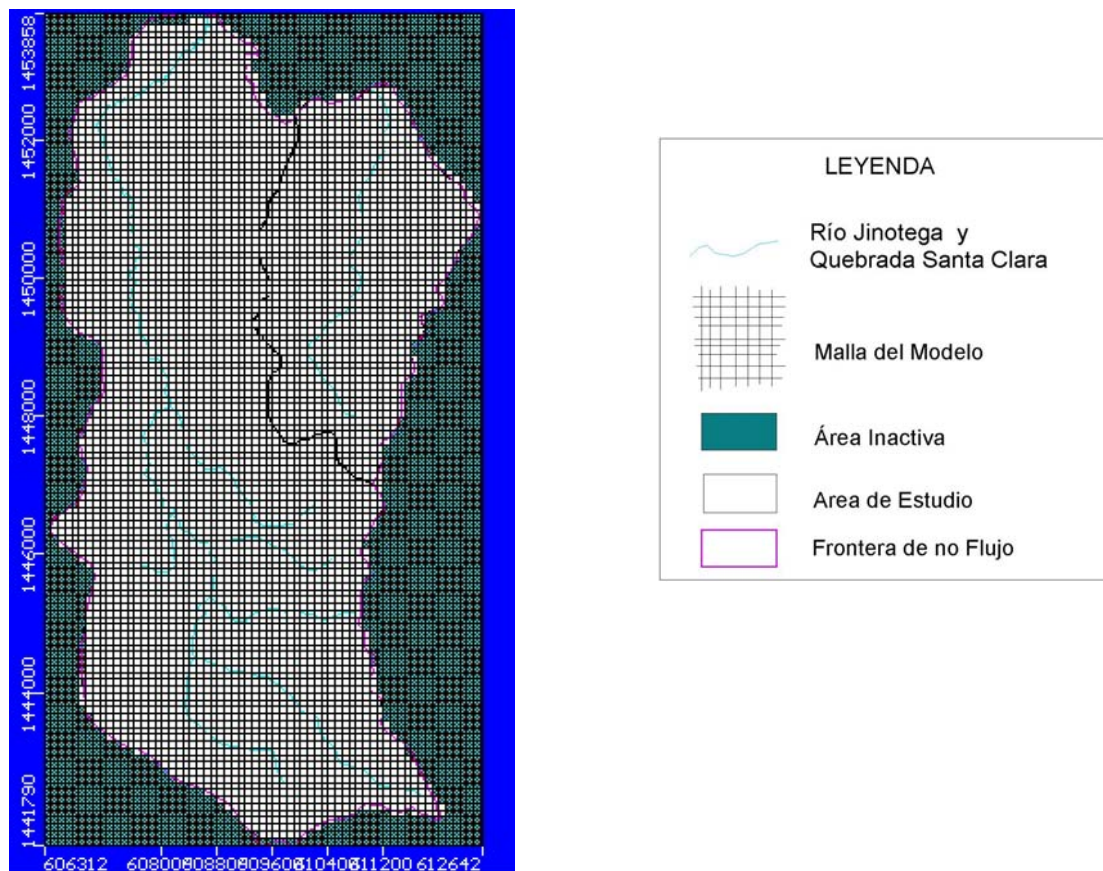


Figura 4.11.- Dominio del Modelo y Distribución de la Malla en el Área de Estudio.

4.3.3 Capas del Modelo

Para la definición de las capas del modelo se correlacionó los perfiles litológicos de los pozos perforados, las características hidráulicas del acuífero y los datos del estudio geofísico, lo que ha permitido identificar 3 capas en función de la disposición geométrica tridimensional de éstas y las unidades hidroestratigráficas definidas, cada una tiene características hidráulicas diferentes.

Capa 1: Subsuelo arcilloso, limo - arcilloso y sedimentos aluviales (arena fina, media, gruesa, gravas).

Capa 2: Ignimbritas alteradas y muy fracturadas.

Capa 3: Basamento rocas ignimbritas.

Es muy importante mencionar que el basamento del acuífero no se encontró en los datos de los pozos perforados, por lo que se tuvo que asumir que se encuentra a 120 metros que es la máxima profundidad de los pozos, para efectos del modelo. La Figura 4.12, muestra las capas en las que se dividió el acuífero.

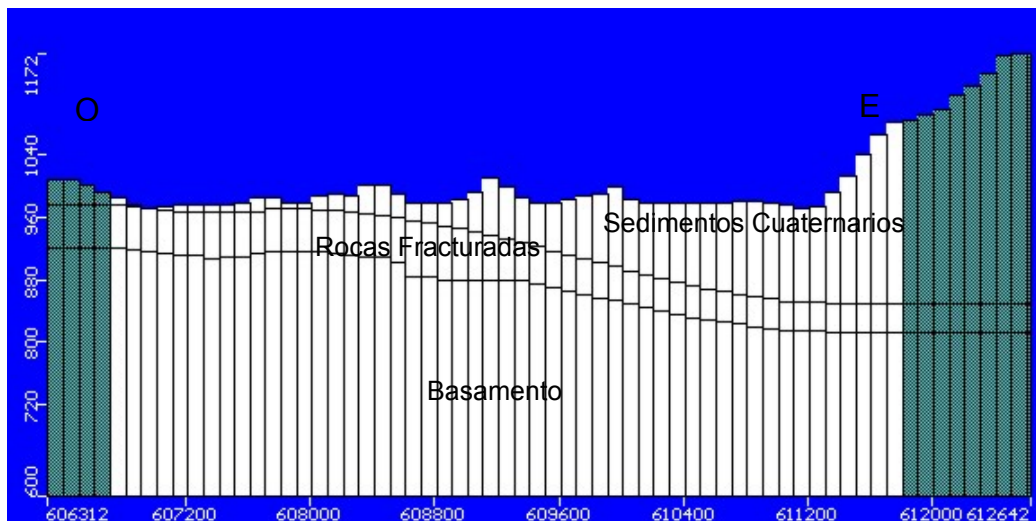


Figura 4.12 Capas del acuífero para el modelo matemático.

4.3.4 Condiciones de Frontera

- **Frontera de no-flujo:** Esta representado por la divisoria topográfica de las microcuencas del río Jinotega y la quebrada Santa Clara en sus limites sur, este y oeste.
- **Frontera Carga constante:** Se consideró al Lago Apanás como carga constante, localizada al norte de las microcuencas, cuyo rango de valor oscila entre 955 a 960 msnm.
- **Frontera Drenes:** La condición de drenes ha sido asignada a todos los tributarios como al principal, río Jinotega, por encontrarse sin agua. La conductancia se determinó por tramos para obtener datos confiables.
- **Frontera de río:** Se asignó a la quebrada Santa Clara condición de río por mantener agua durante todo el año; la conductancia es la resistencia que tiene el agua para fluir entre el lecho del río y el nivel del agua subterránea.

La expresión matemática para el cálculo de la conductancia es,

$$C = KLW/M$$

Donde:

C – conductancia del lecho del río (m²/día)

K – conductividad del material del lecho del río (m/d)

L – longitud de la celda del río con las mismas características (m)

W – ancho de la celda del río con las mismas características (m)

M – Espesor del lecho del río (m)

La conductancia calculada para el río Jinotega se muestra en la Tabla 4.9a , y la conductancia de la quebrada Santa Clara en la Tabla 4.9b. Estos valores son los datos iniciales al modelo.

Tabla 4.9a.- Características Físicas del Cauce del Río Jinotega.

Conductividad K (m/día)	Longitud L (m)	Ancho W (m)	Espesor del lecho del río M (m)	Conductancia C (m ² /día)
0.45	100	1	0.5	90
1	100	2.5	5	50
0.45	100	2.5	8	14.06
6.98	100	2.5	8	218
6.98	100	3.5	20	122.5
6.98	100	2.3	48	33.45
6.98	100	2.3	43.5	36.9
Promedio				102.71

Tabla 4.9b.- Características Físicas del Cauce de la Quebrada Santa Clara.

Conductividad K (m/día)	Longitud L (m)	Ancho W (m)	Espesor del lecho del río M (m)	Conductancia C (m ² /día)
3.13	100	0.45	0.2	704.25
3.13	100	0.525	0.4	410.81
3.13	100	0.625	15	13.04
3.13	100	0.9	40	7.04
Promedio				283.79

- **Basamento impermeable:** Debido a que se desconoce el espesor real y la profundidad de éste, se ha tomado como referencia los cuatro puntos de perforación de pozos del estudio de GKW Consulting (AC-1, AC-2, AC-3, AP-10) y los resultados del Estudio Geofísico. Las condiciones de frontera asumida para el acuífero están reflejadas en la Figura 4.13.

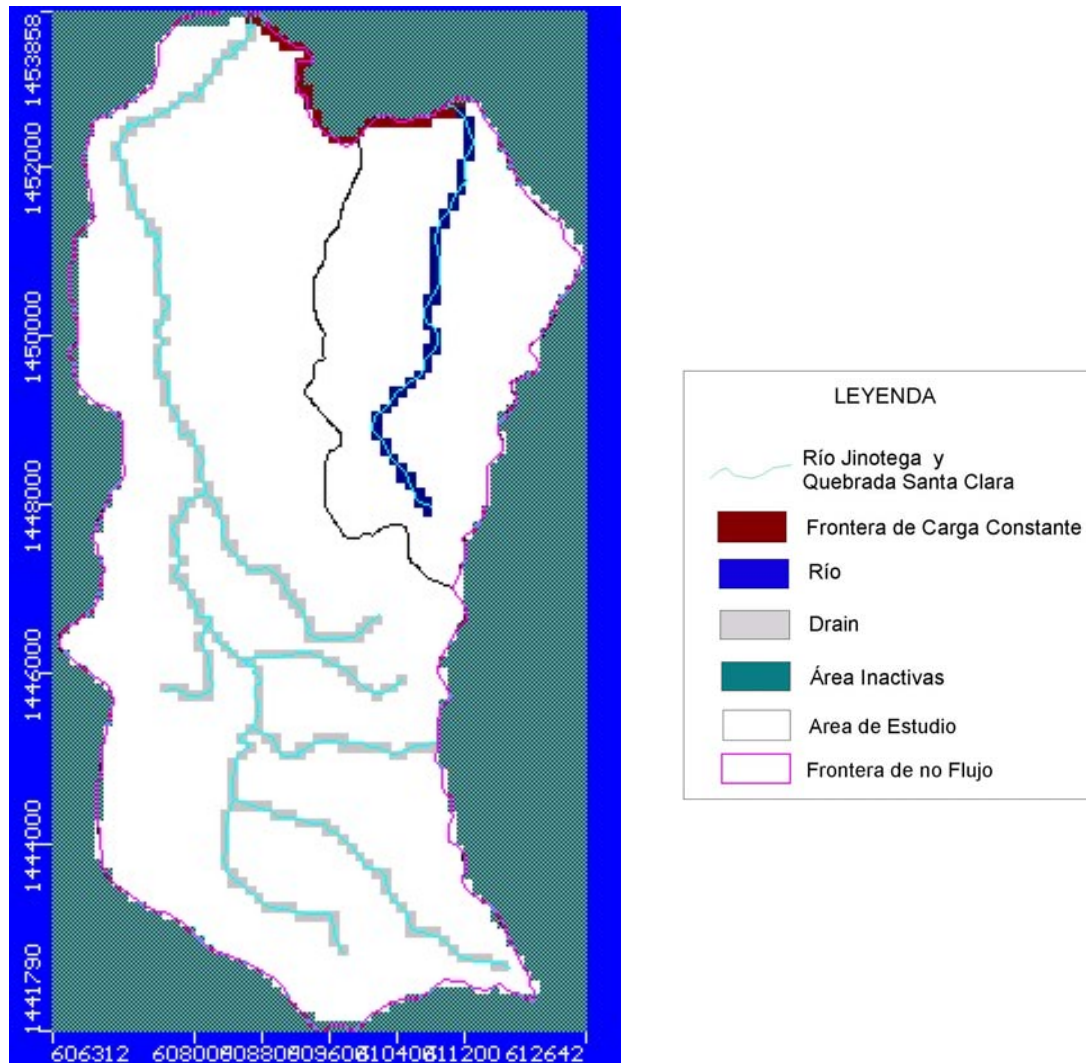


Figura 4.13.- Condiciones de Frontera del Modelo.

4.3.5 Zonas de Recarga

La recarga neta por precipitación se determinó en base a los balances hídricos de suelo realizados en las tres zonas clasificadas del área de estudio (ver sección 4.2.4.1), los datos presentados son las magnitudes de entrada preliminar al modelo numérico. Ver Figura 4.14. La recarga en las los sistemas de falla fue asumida considerando que presentan un alto grado de permeabilidad secundaria.

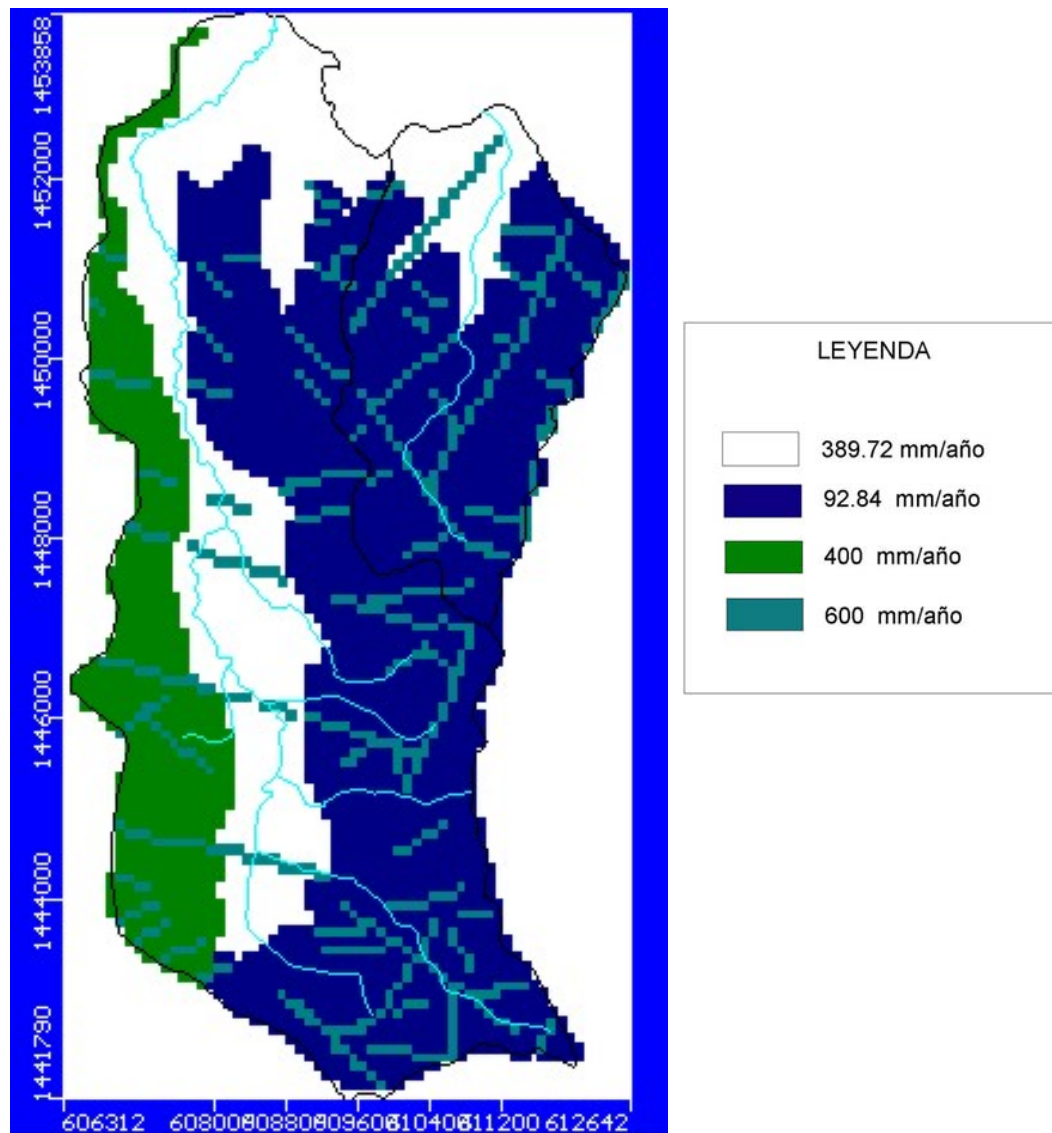


Figura 4.14-Zonas de Recarga Preferencial del Acuífero. Datos Iniciales de Entrada al Modelo.

4.3.6 Parámetros Hidráulicos

Los parámetros hidráulicos utilizados en el modelo los constituyen la conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento. Aunque el modelo está en condiciones de estado estacionario por lo que el coeficiente de almacenamiento es cero, pero nos indica si el acuífero es libre, confinado o semiconfinado.

4.3.6.1 Coeficiente de Almacenamiento

Fue determinado mediante pruebas de bombeo efectuadas en el campo de pozos Santa Clara cuyos valores corresponden a los materiales piroclásticos y sedimentos aluviales, el cual varia $2.5 \cdot 10^{-4} - 4.7 \cdot 10^{-4}$, por lo que tipifica al acuífero semiconfinado. Debido a la falta de pruebas de bombeo del resto de los pozos se asume para todo el acuífero estos valores antes descritos.

4.3.6.2 Conductividad Hidráulica

Este parámetro se obtuvo de pruebas de bombeo del campo de pozos, por lo que se agrupó los sedimentos aluviales y las rocas ignimbritas fracturadas, se les asignó valores de conductividad hidráulica de 5 m/día, al basamento del acuífero 0.01 m/día, material de la trayectoria del río Jinotega 20 m/día, a los aglomerados aflorantes 10 m/día y al sistema de fallas una conductividad hidráulica de 42 m/día. En la Figura 4.15 se reflejan los datos de las diferentes conductividades hidráulicas de entrada en el modelo.

El sistema de fallas se definió como una zona de conductividad hidráulica alta con valor asumido de 42 m/d, donde se produce mayor infiltración producto del alto grado de permeabilidad secundaria.

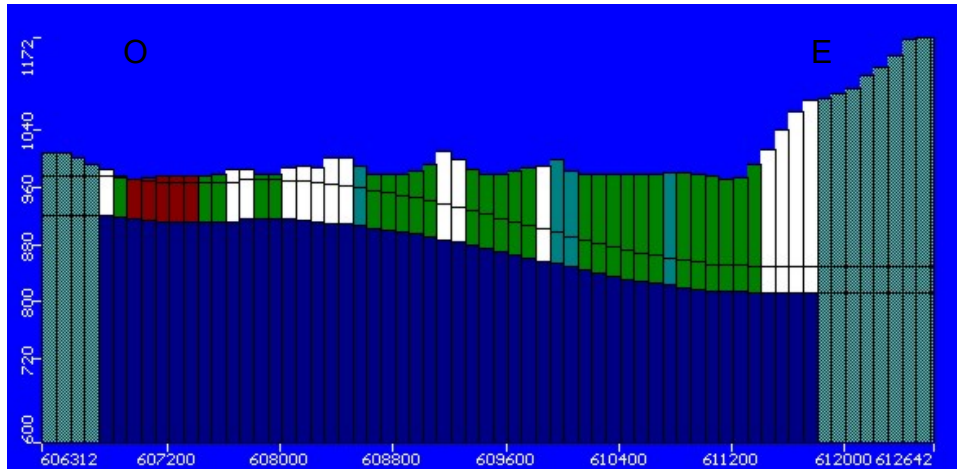


Figura 4.15.- Distribución de la Conductividad Hidráulica del Acuífero. Datos Iniciales de Entrada al Modelo.

Property #	Kx [m/d]	Ky [m/d]	Kz [m/d]	Color
1	10	10	0.1	
2	0.01	0.01	0.001	
3	5	5	0.5	
4	42	42	4.2	
5	20	20	2	

4.3.7 Bombeo de Pozos (Extracciones del Acuífero)

Las descargas o extracciones de agua por bombeo se establecieron para la condición de explotación actual del acuífero, siendo el volumen de bombeo aproximado de 5051 m³/día. El modelo incluye los pozos de bombeo con sus respectivos caudales.

4.3.8 Confiabilidad de los datos

La confiabilidad de los datos determina el grado de certeza o seguridad que se tiene con respecto a los valores reales establecidos en el sistema. Este grado de confiabilidad es cualitativo, no se hizo una medición cuantitativa. Los datos que se obtengan a partir de pruebas o mediciones realizadas en el campo tendrán mayor grado de certeza que aquellos que fueron estimados a través de datos teóricos.

En la Tabla 4.10 se resume el grado de confiabilidad para cada uno de los datos de entrada al modelo , en el mismo se incluye el método de obtención de cada uno.

Tabla 4.10.- Confiabilidad de los Datos de Entrada al Modelo Numérico.

Parámetro	Grado de Confiabilidad	Método de Obtención
Conductividad hidráulica de los sedimentos aluviales y rocas fracturadas	Alto	Pruebas de bombeo
Coeficiente de Almacenamiento	Alto	Pruebas de bombeo
Conductancia	Bajo	Estimada
Recarga	Alto	Balance hídrico de suelo
Espesor saturado del acuífero	Medio	Características litológicas de unidades geológicas.
Volúmenes de extracción	Alto	Caudales de producción

4.3.9 Calibración del Modelo

El proceso de calibración consiste en reproducir o simular, a través del modelo, las condiciones hidrogeológicas observadas en el campo tales como la dirección de flujo, niveles de agua subterráneos, recarga por precipitación, flujo base de los ríos, etc., los que son llamados valores de calibración.

El modelo se calibró para dos condiciones diferentes, en estado natural y condición actual de bombeo. Los datos de entrada se fueron ajustando dentro de los rangos permisibles y razonables, hasta llegar a reproducir los valores de la carga hidráulica. Se aplicaron los criterios del cálculo de los residuos potenciométricos, o sea comparando las cargas observadas con las cargas calculadas y el cálculo de residuos asociados a flujo, esto es realizar el balance de masas del acuífero.

4.3.9.1 Condición Natural (Estado Estacionario)

La calibración del modelo en condición natural se hizo ajustando los parámetros de conductividad hidráulica y recarga dentro de rangos razonables, para lograr calibrar los niveles freáticos y disminuir las diferencias entre los niveles observados en campo con los niveles calculados por el modelo.

La zona alta o de recarga del área en estudio cuenta con pocos datos debido a que solo hay pozos excavados, donde solo se realizó monitoreo de los niveles estáticos para elaborar el mapa de isofreáticas y no hay registros de pruebas de bombeo para determinar los parámetros hidráulicos de esa zona; por lo que se tomaron como datos de entrada los resultados de las pruebas de infiltración.

La parte media del área en estudio de igual forma contaba con datos del monitoreo realizado para este estudio y a pesar que se encontraron pozos perforados no se obtuvo ninguna información de los registros tanto del perfil litológico como de pruebas de bombeo. Solo la zona de descarga, en la parte de Santa Clara, cuenta con datos confiables para la simulación de los datos de entrada al sistema.

Los valores de conductividad hidráulica en la capa impermeable y las rocas fracturadas no fueron modificados, no fue el caso de los sedimentos aluviales, los que se zonificaron para dar un mayor nivel de detalle , a como se puede apreciar en la Figura 4.16. Los valores finales de calibración del modelo son los reflejados en la Tabla 4.11.

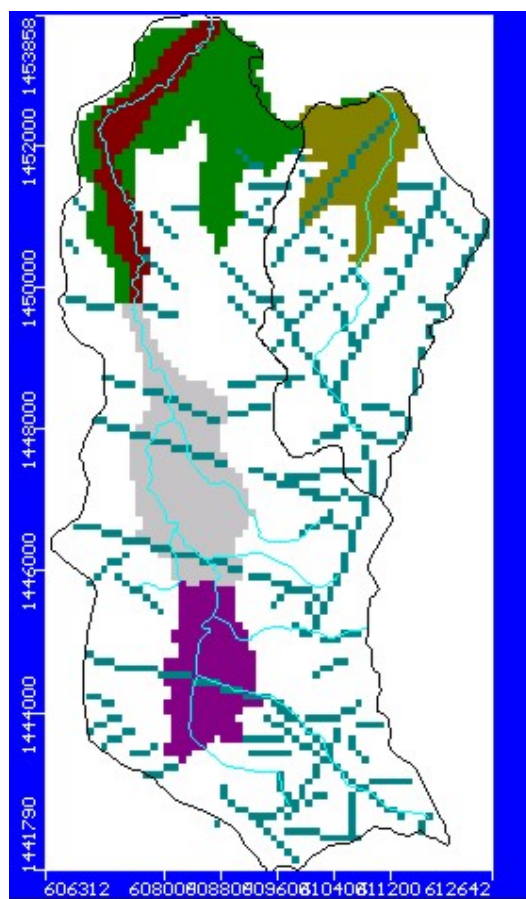


Tabla 4.11 . Valores de Conductividad Hidráulica para la calibración del modelo

Property #	K _x [m/d]	K _y [m/d]	K _z [m/d]	Color
1	0.1	0.1	0.01	
2	0.01	0.01	0.001	
3	6	6	0.6	
4	41	41	4.1	
5	20	20	2	
6	8	8	0.8	
7	3	3	0.3	
8	10	10	1	

Figura 4.16.- Conductividad Hidráulica Obtenida de la Calibración del Modelo.

La recarga de entrada utilizada en el modelo, ha sido estimada a partir del método de balance hídrico de suelo, obtenido mediante la formula analítica Schosinsky – Losilla. La distribución de la recarga de calibración en el modelo fue ajustada de acuerdo al tipo de suelo, determinando nuevas zona, a como se presenta en la Figura 4.17.

Tabla 4.12 .- Valores de la Recarga Calibrada por Zonas.

Zonas	Recarga (mm/año)
Zonas 1a y 1d	575
Zona 1b	85
Zona 1c	150
Zona 2	400
Zona 3	400
Sistema de fallas	700

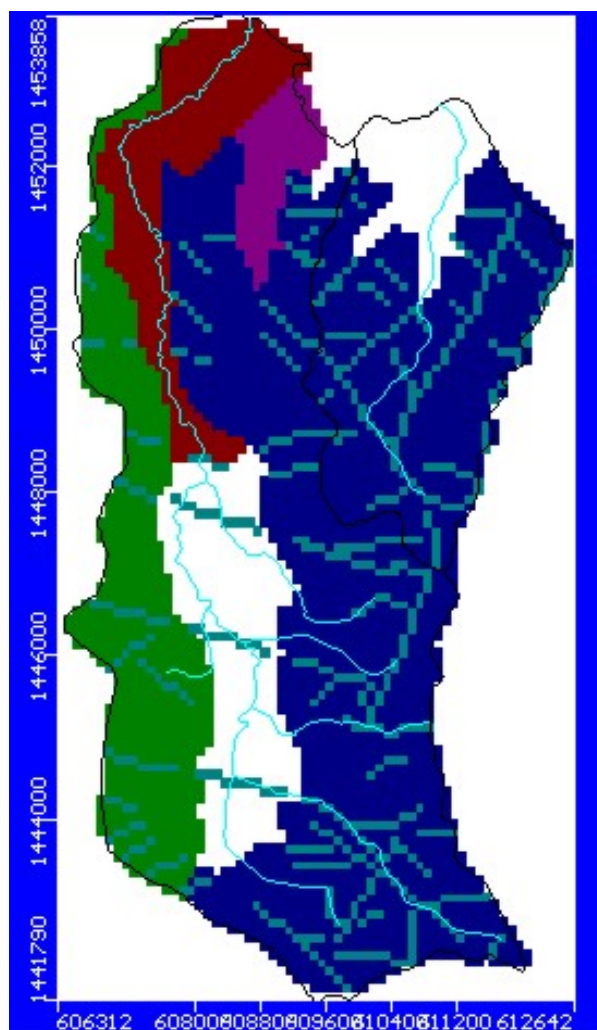


Figura 4.17.- Valores de Calibración de la Recarga por Zonas.

Para apreciar el nivel de calibración del modelo, se comparan las curvas de equipotenciales inferidas de las mediciones del nivel estático del agua con las producidas por el modelo. De esta forma se representa la diferencia de la distribución espacial entre cargas hidráulicas observadas y calculadas, así como la dirección del flujo subterráneo, teniendo como zona de descarga el Lago Apanás. Ver Figura 4.18.

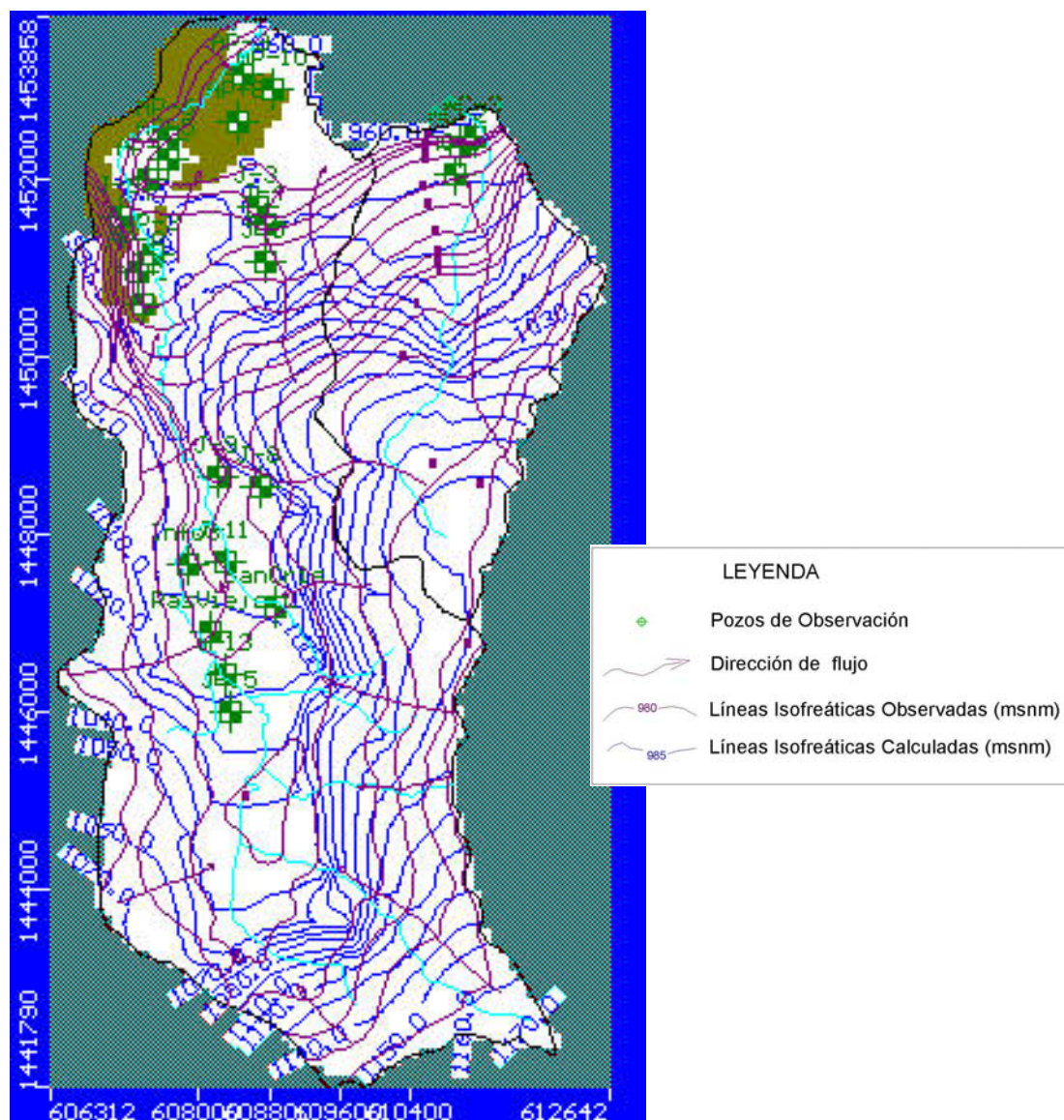


Figura 4.18 .- Comparación Superficie Freática Observada y Calculada. 2002

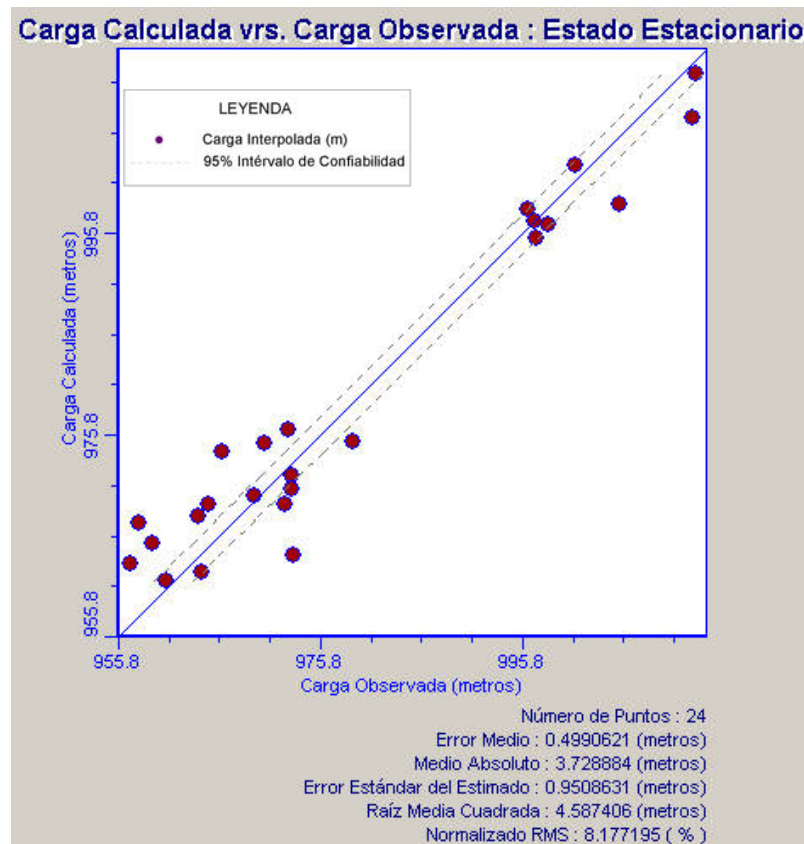
Esto indica que el modelo es capaz de reproducir satisfactoriamente las condiciones del sistema, la comparación de estos valores son presentados en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13.- Comparación de Niveles Observados y Calculados en Condición Natural.

Pozos	Nivel Observado (msnm)	Nivel Calculado (msnm)
AC-1	973.06	963.81
AC-2	959.06	965.02
AC-3	956.90	962.97
AP-1	972.61	976.47
AP-2	970.25	975.10
AP-3	966.03	974.27
AP-4	964.71	968.88
AP-5	963.74	967.72
AP-6	957.81	967.15
AP-8	973.06	963.81
AP-9	964.03	962.20
AP-10	960.41	961.30
J3	969.31	969.67
J4	973	970.35
J5	978.92	975.18
J6	972.86	971.80

J8	996.90	997.04
J9	997.09	995.37
J11	998.24	996.56
Info 3	996.38	998.19
San Cristóbal	1005.42	998.59
Rastro Viejo	1000.95	1002.49
J13	1012.57	1007.29
J15	1013	1011.63

La desviación estándar es de 0.95 m, el error absoluto de 3.72 m y el error normalizado obtenido indica que el total de los datos solamente difieren aproximadamente el 8.17% de los valores extremos observados; este error debe ser menor del 10% para considerarse aceptable, los valores se presentan en la Gráfica 4.1.



Gráfica 4.1.- Relación Carga hidráulica Calculada contra Observada. Condición Natural.

De los resultados del balance de masa se obtiene que el flujo que se descarga del acuífero hacia el lago es de 60,144.77 m³/día. También se puede apreciar que la recarga principal es por precipitación, según los resultados la quebrada Santa Clara alimenta al acuífero, lo que representa aproximadamente el 25.63 % del total del caudal de entrada. En lo que respecta al flujo base calculado de la quebrada Santa Clara es aproximadamente 7.8 veces menos que el flujo base medido en la época seca durante el trabajo de campo, correspondiente a 15, 984 m³/día. Esto se debe a que en algún transepto de la quebrada Santa Clara, ésta alimentando al acuífero.

El resultado de la carga constante por el Lago Apanás, demuestra que no entra agua al acuífero proveniente del lago, y que hay descarga por el río Jinotega en

condiciones naturales del sistema, es decir cuando no hay extracción de agua subterránea por bombeo.

En términos generales, el balance de masa obtenido refleja la situación natural del acuífero y que unido a la obtención y comparación de los niveles del agua subterránea, la calibración se considera aceptable. A continuación se presenta la Tabla 4.14 y la Gráfica 4.2 correspondiente al balance de masas resultante de la calibración del modelo en condiciones naturales.

Tabla 4.14.- Balance de Masa de los Caudales de Entrada y Salida. Condición Natural

Componente	Caudales de Entrada (m ³ /día)	Caudales de Salida (m ³ /día)
Pozo	0	0
Recarga	58,097.48	0
Río	2,047.28	1,522.4
Drains	0	39,429.23
Carga Constante	0	19,193.1
Total	60144.75	60144.79

Dado que el modelo está en estado estacionario el caudal de entrada es igual al caudal de salida. El balance de masas también nos indica una buena calibración porque no hay diferencia entre entradas y salidas.

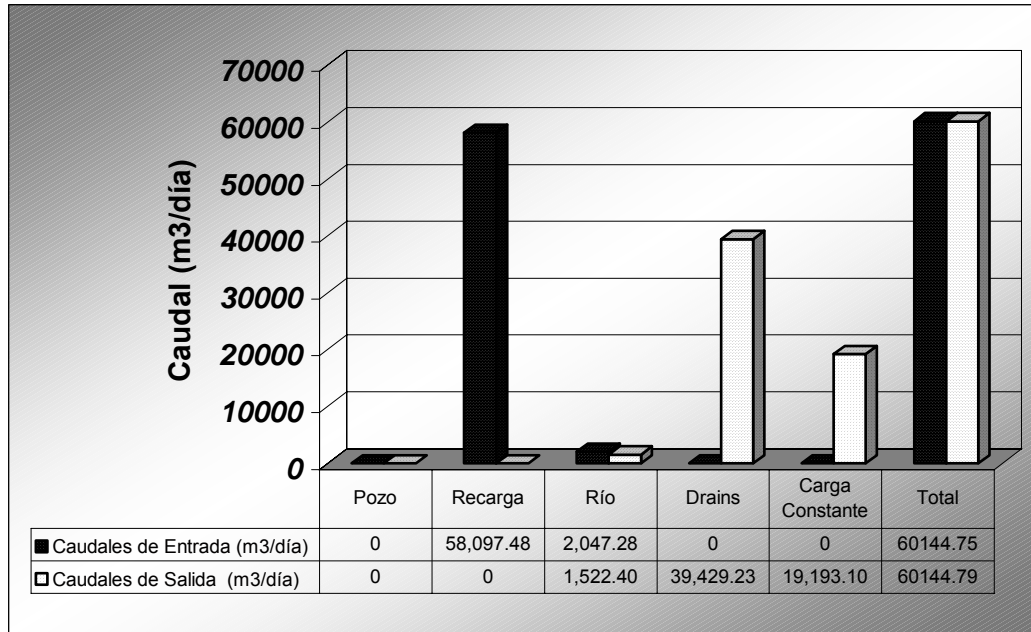


Gráfico 4.2.-Balance de Masas de los Caudales de Entrada y Salida.

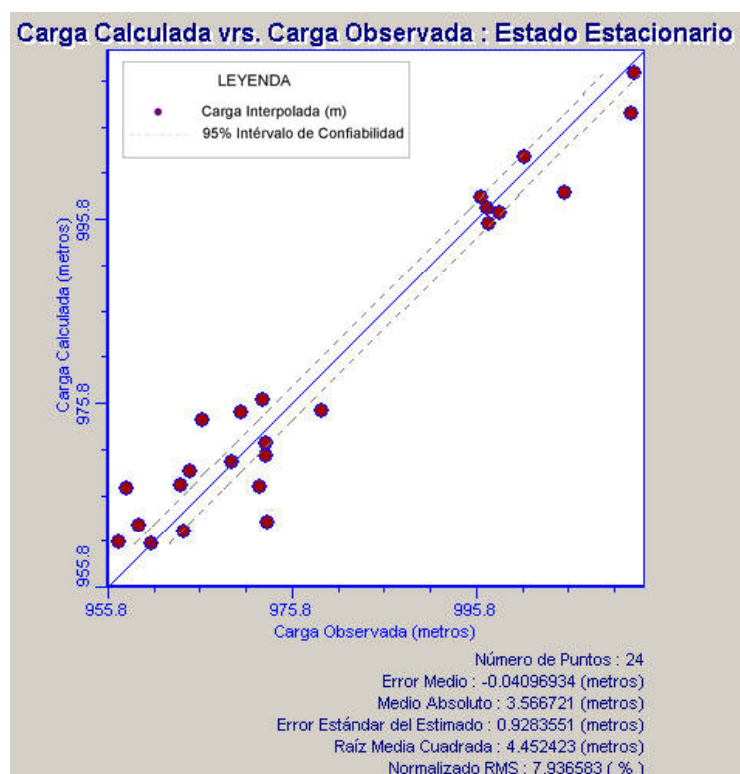
4.3.9.2 Condición de bombeo (Estado Estacionario)

Para observar los efectos del bombeo en el sistema, se incluyeron únicamente los pozos perforados y que pertenecen al campo de pozos que abastecen de agua actualmente a la ciudad de Jinotega. La simulación de extracción de dichos pozos se estimó con los valores proporcionados por la empresa aguadora de Jinotega para el mes de marzo del 2004. Donde los caudales oscilan entre 18 y 1440 m³/día y el tiempo de bombeo diarias fueron de 3 a 17 horas.

En la Tabla 4.15 se puede apreciar la comparación de los niveles observados y los niveles calculados, puede notarse que se disminuye el error de correlación en la mayoría de los pozos, ver Gráfica 4.3.

Tabla 4.15.- Comparación de Niveles Observados y Calculados. Condición de Bombeo.

Pozos	Nivel Observado (msnm)	Nivel Calculado (msnm)
AC-1	972.20	966.67
AC-2	959.06	962.52
AC-3	956.90	960.62
AP-1	972.61	976.17
AP-5	963.74	966.91
AP-6	957.81	966.48
AP-8	973.06	962.80
AP-10	960.41	960.53



Gráfica 4.3.-Relación Carga Hidráulica Calculada contra Observada. Condición de Bombeo.

La Figura 4.19, muestra la superficie de equipotenciales y los vectores de velocidad respectivos. Con esta condición aun se mantiene la dirección del flujo sur – norte; el nivel desagua subterránea esta por encima del nivel del lago por lo tanto la carga es mayor.

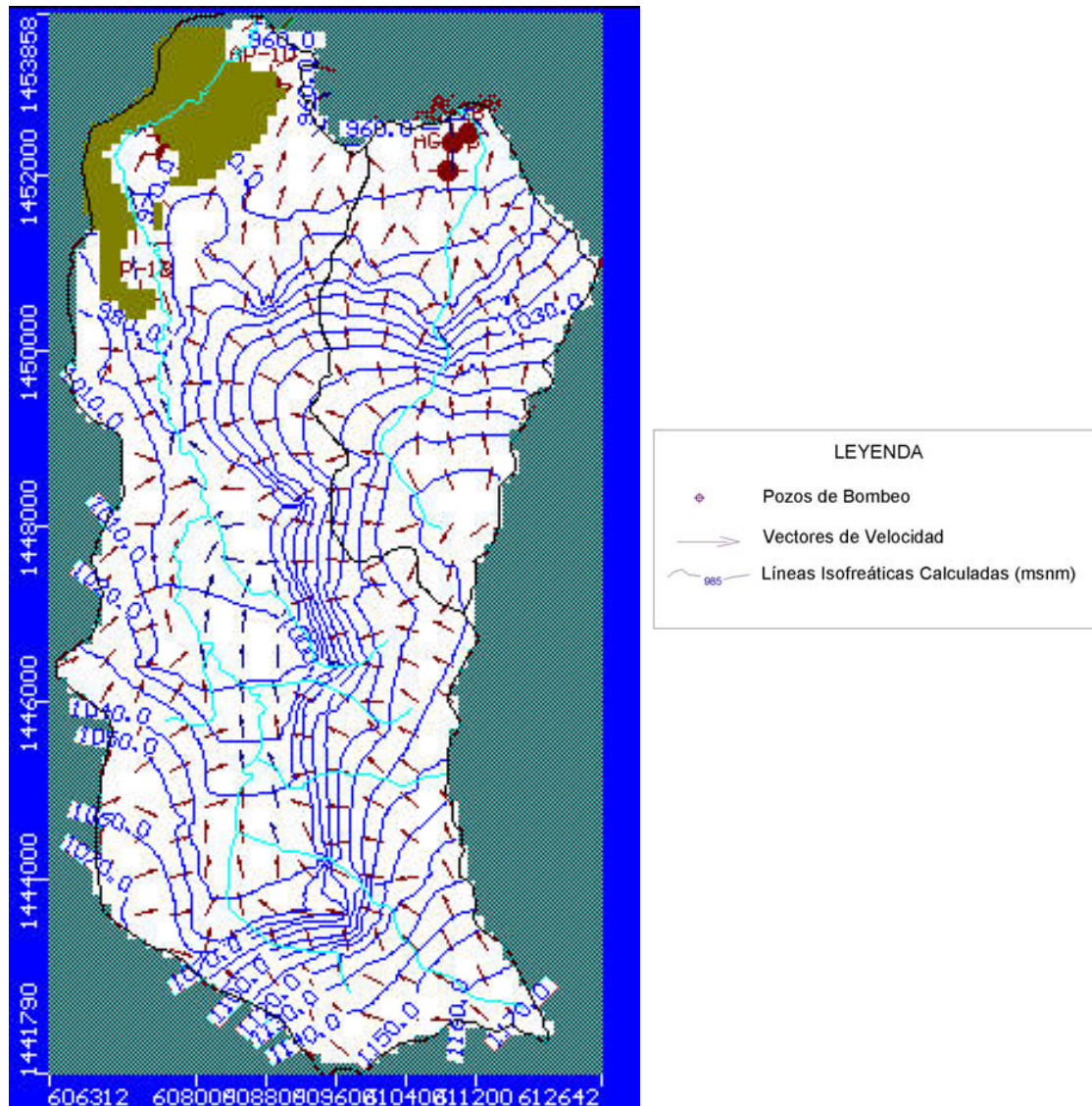


Figura 4.19.- Superficie de Equipotenciales y Vectores de Velocidad.

En la Tabla 4.16 y Gráfico 4.4 se presenta el balance de masas para el acuífero en condición actual de bombeo, se puede observar que el mismo se recarga principalmente por la infiltración efectiva proveniente de la precipitación y

escorrentía superficial del río; al iniciarse el proceso de bombeo produce una disminución de los niveles del agua subterránea, por lo que el flujo subterráneo disminuye, es decir que existe una reducción de 4,587.28 m³/día con respecto a la condición natural y no entra agua del lago hacia el acuífero; el acuífero descarga por el drain o sea por el río Jinotega, los pozos y al lago (carga constante).

Por otro lado, haciendo una comparación con la escorrentía superficial en la microcuenca de la quebrada Santa Clara equivalente a 11 568.72 m³/día , y la recarga por percolación del río, éste representa el 17.8% de la escorrentía superficial.

La recarga por precipitación calculada por el modelo es de 58,097.48 m³/día, según los balances hídricos de suelo realizados, la recarga por precipitación tiene un valor de 15 738.56 m³/día; las extracciones por bombeo representan el 32.1 % de la recarga total al acuífero.

Tabla 4.16.- Balance de Masa del Acuífero. Condición de Bombeo.

Componente	Caudales de Entrada (m³/día)	Caudales de Salida (m³/día)
Pozo	0	5,051
Recarga	58,097.48	0
Río	2,055.73	1,427.61
Drains	0	39,053.35
Carga Constante	0	14,621.29
Total	60,153.21	60,153.254

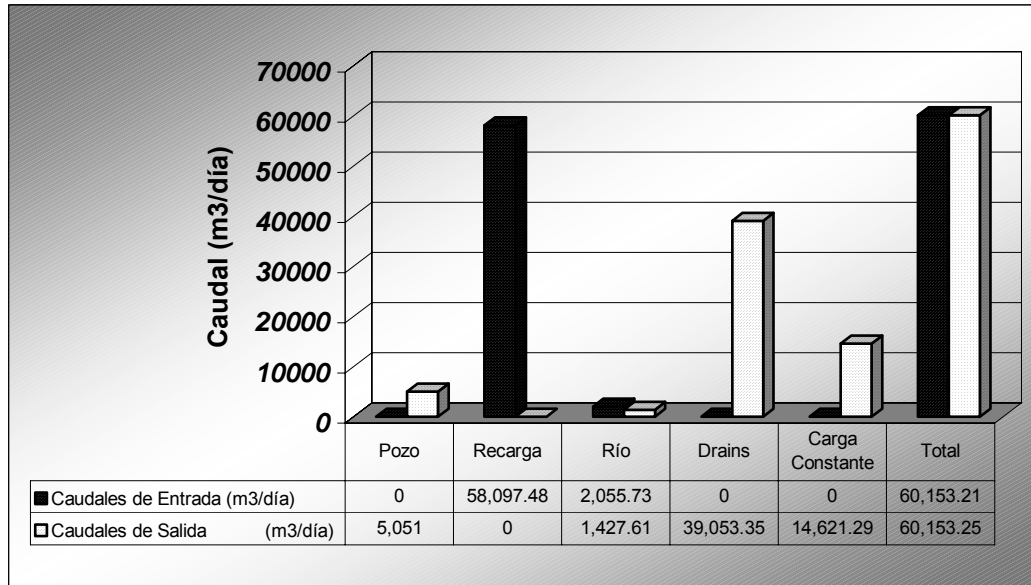


Gráfico 4.4.-Balance de Masas del Acuífero. Condición Bombeo.

4.3.10 Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad, sirve de herramienta para hacer el ajuste final a la calibración del modelo. Se define como el nivel de incertidumbre estimado por el modelo, por efecto del rango de valores mínimo y máximo de variación natural de los parámetros previamente estimados, y observar el grado de afectación al sistema.

El análisis referido se realizó para la recarga y conductividad hidráulica en la condición actual de bombeo. La modificación de la recarga en un 25% provocó cambios en la superficie freática, lo mismo que el nivel de error entre las cargas hidráulicas observadas vrs las calculadas. En la Tabla 4.17 se presentan los valores mínimos y máximos de recarga, los que se corresponden con las Figuras 4.20a y 4.20b, que representan la distribución espacial de los mismos.

Tabla 4.17.- Valores de Comparación de la Recarga.

ZONAS	RECARGA DE CALIBRACIÓN (mm/año)	RECARGA DE SIMULACIÓN (mm/año)	
		MÍNIMA (- 25%)	MÁXIMA (+25%)
Zona 1 a – parte alta Sedimentos aluviales (vertisoles y mollisoles)	575	431.25	718.75
Zona 1 b – parte baja Sedimentos aluviales (vertisoles)	85	63.75	106.25
Zona 1 c - Sedimentos aluviales (vertisoles)	150	112.5	187.5
Zona 1 d - Sedimentos aluviales (vertisoles)	575	431.25	718.75
Zona 2 - Alfisoles	400	300	500
Zona 3 - Entisoles	400	300	500
Sistema de fallas	700	525	875
TOTAL	2885	2163.75	3606.25

Carga Calculada vs. Carga Observada : Estado Estacionario

LEYENDA

- Carga Interpolada (m)
- 95% Intervalo de Confianabilidad

Carga Calculada (metros)

Carga Observada (metros)

Número de Puntos : 24
 Error Medio : -3.287864 (metros)
 Medio Absoluto : 6.135153 (metros)
 Error Estándar del Estimado : 1.360246 (metros)
 Raíz Media Cuadrada : 1.730522 (metros)
 Normalizado RMS : 13.02178 (%)

Carga Calculada vrs. Carga Observada : Estado Estacionario

LEYENDA

- Carga Interpolada (m)
- 95% Intervalo de Confiabilidad

Número de Puntos : 24
 Error Medio : 2.258632 (metros)
 Medio Absoluto : 3.968619 (metros)
 Error Estándar del Estimado : 0.88328 (metros)
 Raíz Media Cuadrada : 4.800587 (metros)
 Normalizado.RMS : 8.557197 (%)

108

Los resultados de la simulación demuestra que el modelo es sensible a los cambios de recarga sobre todo con la disminución de la misma. Hay descensos en los niveles de la zona de recarga. Esto indica que este es un parámetro muy importante que debe restringirse a un rango estrecho. En este caso la recarga fue estimada a través de un balance de suelo detallado por lo que se tiene mucha confianza en el valor estimado.

Para el análisis de sensibilidad de la conductividad hidráulica, en el caso del basamento y las rocas fracturadas se varió un orden de magnitud, el resto de las capas se tomaron valores de acuerdo a los mostrados en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18.- Valores de Comparación de la Conductividad Hidráulica Mínima y Máxima.

ZONAS	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DE CALIBRACIÓN (m/día)	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA DE SIMULACIÓN (m/día)	
		MÍNIMA	MÁXIMA
Zona de Recarga – Sedimentos aluviales (vertisoles)	8	1	10
Zona media –Sedimentos aluviales (mollisoles)	10	1	20
Zona de Descarga 1- Sedimentos aluviales (vertisoles)	6	1	10
Zona de Descarga 2 - Sedimentos aluviales (vertisoles)	3	1	10
Sedimentos lecho del río Jinotega, parte baja (areno-arcilloso-gravoso)	20	5	25

Zona Rocas del Terciario (aglomerado-ignimbrítico, dacítico) –(Alfisoles y Entisoles	0.1	0.01	1
Basamento	0.01	0.001	0.1
Sistema de fallas	41	20	50

En las siguientes Figuras 4.21a y 4.21b, y los Gráficos 4.6a y 4.6b, se hace la comparación de la conductividad hidráulica mínima y máxima. Puede notarse que el modelo es sensible a los cambios y afecta los niveles piezométricos, sobre todo cuando hay aumento de la conductividad. Esto se observa en los gráficos de calibración, al variar la conductividad varia el error.

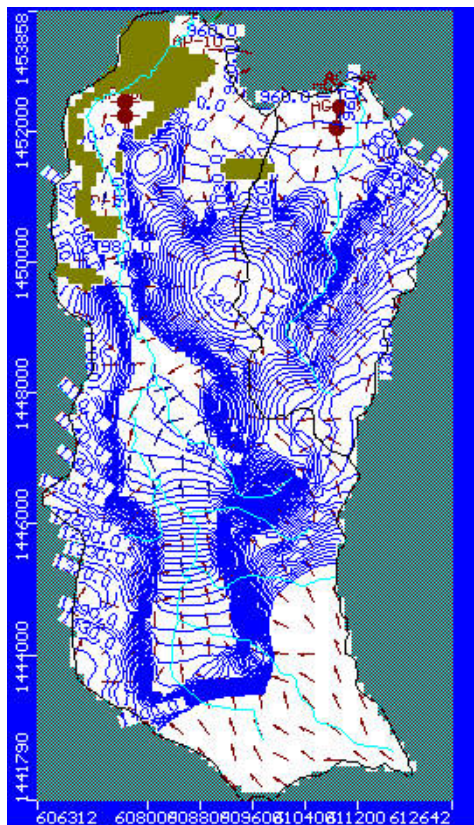


Figura 4.21a. Conductividad Mínima.

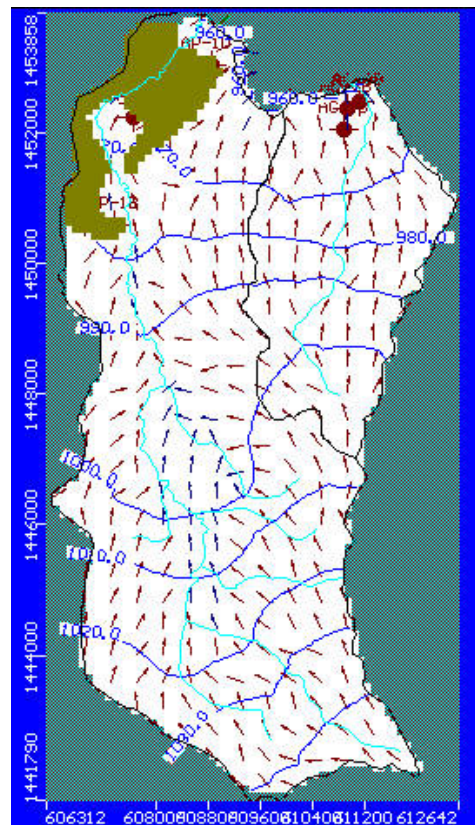
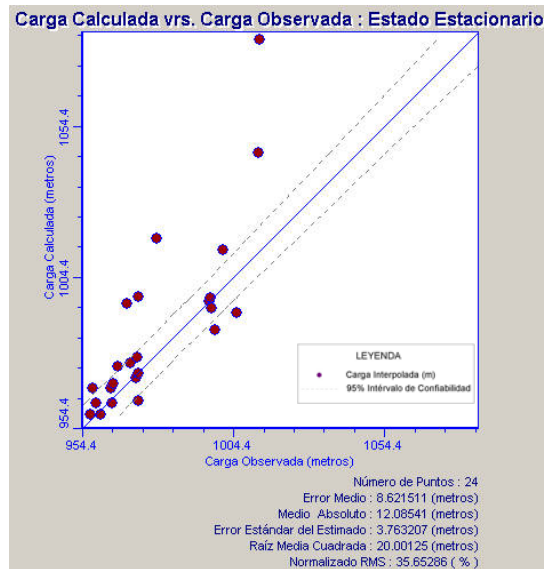
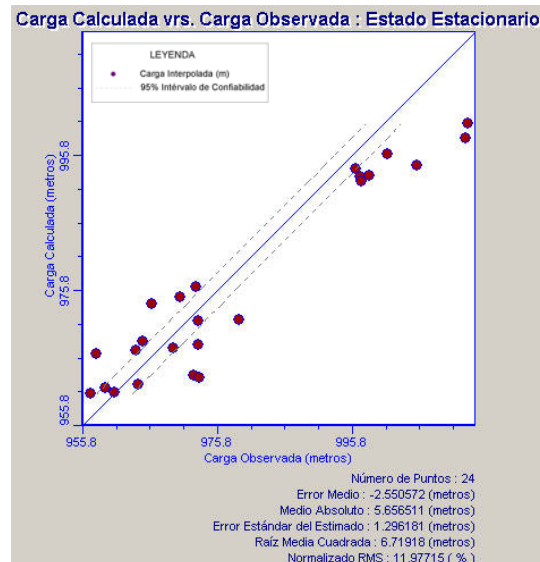


Figura 4.21b. Conductividad Máxima.



Gráfica 4.6a. Conductividad Mínima.



Gráfica 4.6b. Conductividad Máxima.

En la Tabla 4.19, se presenta los resultados del análisis de sensibilidad. El modelo es mas sensible a los cambios en la recarga y la conductividad hidráulica, esto significa que estos parámetros tienen que estimarse con la mayor confiabilidad posible.

En este caso el rango de la conductividad fue estimado de la parte baja de la cuenca donde existían pozos con pruebas de bombeo y se asumió este valor para el resto de la cuenca, lo que el nivel de confianza en los valores de la conductividad para la parte alta y media del área de estudio es baja, y los rangos de valores asumidos para la calibración es razonable.

Se realizó cambios en el basamento por considerar que fue asumido a 120 m bajo la superficie del terreno para efectos del modelo, por no existir información sobre éste.

Tabla 4.19.- Resultados del Análisis de Sensibilidad

PARAMETROS DE COMPARACION	Error Medio (m)	Medio Absoluto (m)
Recarga Mínima	-3.2878	6.1351
Recarga Máxima	2.2586	3.9686
Conductividad Hidráulica Mínima	8.6215	12.0854
Conductividad Hidráulica Máxima	-2.5505	5.6585

El balance de masas resultante del análisis de sensibilidad para todas las condiciones demuestra que cuando el acuífero se somete a condiciones mínimas de recarga y mayor descarga, en este caso sería en período seco, hay inversión del gradiente hidráulico, esto lo demuestra el término de entrada a través de la barrera de carga constante, hay flujo del lago hacia el acuífero. A continuación en la Tabla 4.20 se presenta el balance de masas.

Tabla 4.20. Balance de Masas de la Recarga Mínima.

Componente	Caudales de Entrada (m ³ /día)	Caudales de Salida (m ³ /día)
Pozo	0	5051
Recarga	43,573.41	0
Río	993.39	4,866.898
Drains	0	29,340.28

Carga Constante	56.29	5365
Total	44,623.097	44,623.187

4.3.11 Predicción de Escenarios

Para poder predecir la futura reacción del acuífero, se ha tomado en cuenta los resultados de la última calibración del modelo, donde se pretende simular el caudal de extracción máximo teórico, que representaría el rendimiento seguro del sistema de agua subterránea.

En la simulación de predicción debe tomarse en cuenta que la ubicación de los pozos con respecto a la línea de costa del Lago Apanás estará en la misma cota del pozo más cercano 960 msnm. Dicho criterio se debe a que existe una influencia directa del lago, lo que reflejaría directamente en los abatimientos y por consiguiente en la probable inversión del gradiente hidráulica (eventual contaminación del acuífero).

4.3.11.1 Aumento de los caudales de los pozos

Esta condición consiste en aumentar los caudales de extracción con el objetivo de observar el comportamiento del flujo de agua subterránea y determinar a que caudal de extracción se produce inversión del gradiente hidráulico del Lago Apanás hacia el campo de pozos.

De los resultados obtenidos se determinó un caudal máximo de extracción de 8,163 m³/día, donde todavía no se observa intrusión del agua del lago hacia el acuífero, aunque parece estar en la condición límite para que este efecto suceda (Figura 4.22), aumentar el caudal de extracción por encima de estos valores causará un descenso en el nivel del agua subterránea y por lo tanto inversión del gradiente hidráulico . Los valores se presentan a continuación en la Tabla 4.21 y el Gráfico 4.7.

Tabla 4.21- Caudal de Extracción Máximo.

Pozo de bombeo	Caudal de Bombeo Actual (m³/día)	Caudal de Extracción Máximo Teórico (m³/día)
AC-1	1005	2000
AC-2	1080	2050
AC-3	1440	2075
AP-10	714	1000
AP-8	374	600
AP-6	60	60
AP-5	360	360
AP-1	18	18
Total	5051	8163

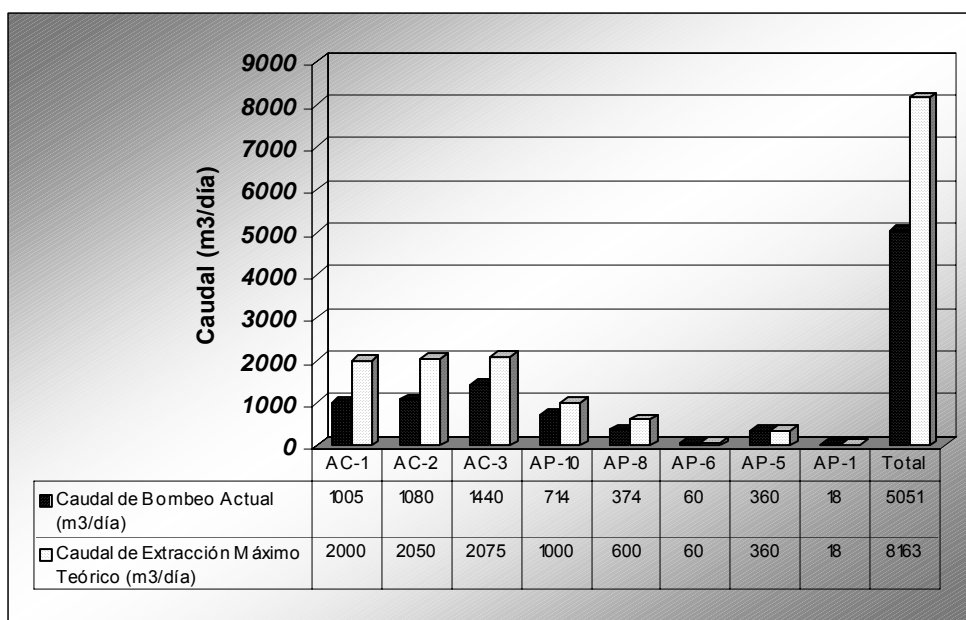


Gráfico 4.7- Caudal de Extracción Máximo.

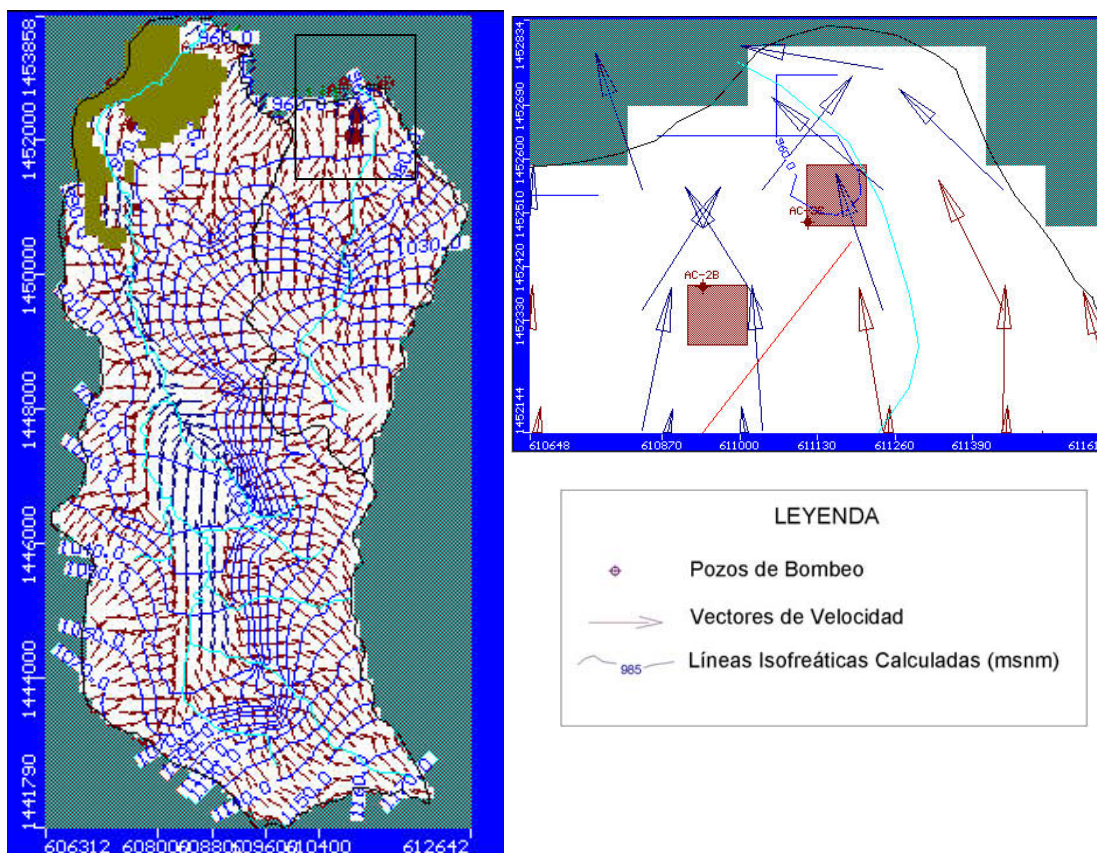


Figura 4.22.- Condición Aumento de Caudales.

4.3.11.2 Condición Aumento de Número de Pozo

Consiste en simular el comportamiento del agua subterránea al entrar en operación el pozo AC-4, el cual se encuentra ubicado a 500 m del pozo AC-1 en Santa Clara y se simuló con el caudal de la prueba de bombeo de 3360.32 m³/día. En la Figura 4.23, puede verse que la dirección del flujo mantiene su dirección original y que cerca del pozo AC-3 hay una pequeña depresión producto del cono de abatimiento. Esto indica que a la entrada en operación del pozo AC-4 con este caudal se estaría sobre explotando al acuífero.

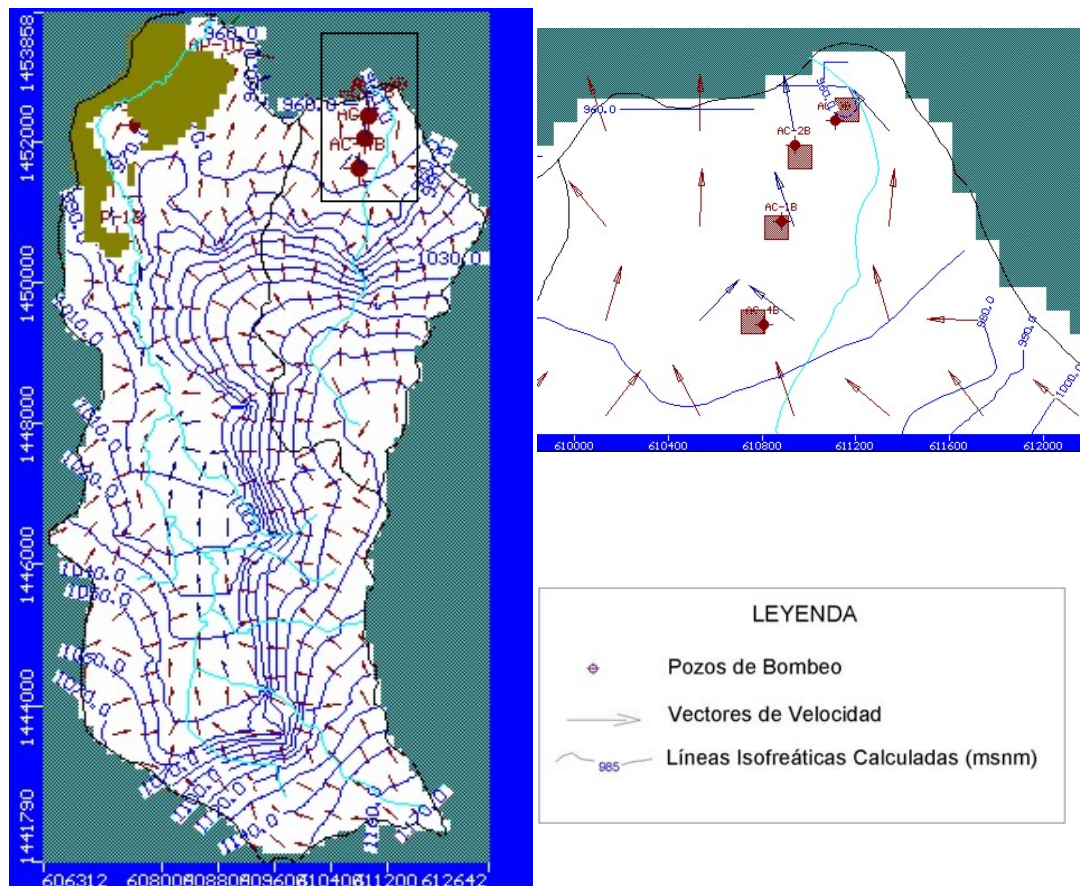


Figura 4.23.- Condición Aumento de Pozo.

En la Tabla 4.22 se muestra el resultado de la simulación en condición de extracción máxima teórica al entrar el pozo AC-4 al sistema de abastecimiento. A como se puede ver habría que disminuir los caudales de extracción máxima de todos los pozos (ver Tabla 4.21) para evitar la inversión de gradiente hidráulico, sobre todo en período seco, considerando que la calidad del agua del lago Apanás no tiene la calidad óptima según las normas de agua para tomar.

Tabla 4.22- Caudal de Extracción Máximo Incluyendo al Pozo AC-4.

Pozo de bombeo	Caudal de Bombeo Actual (m³/día)	Caudal de Extracción Máximo Teórico (m³/día)
AC-1	1005	1700
AC-2	1080	1800
AC-3	1440	1900
AC-4*	3360.32	990
AP-10	714	1000
AP-8	374	600
AP-6	60	60
AP-5	360	360
AP-1	18	18
Total	7950.93	8428

* No está incluido en el sistema.

A continuación en la Tabla 4.23 se presenta el balance de masas para la condición de extracción máxima al incorporar al pozo AC-4.

Tabla 4.23.- Balance de Masas para la Condición de Caudal de Extracción Máximo Incluyendo al Pozo AC-4.

Componente	Caudales de Entrada (m³/día)	Caudales de Salida (m³/día)
Pozo	0	8428.00
Recarga	58097.48	0
Río	2066.36	1326.36
Drains	0	38967.61
Carga Constante	0	11441.91
Total	60163.84	60163.87

En la Tabla 4.24, se puede observar que el error medio absoluto es de 3.5 m para la condición de aumento de caudales y de 3.6 m para la condición de aumento del número de pozo (AC-4), el cual no difiere del error medio absoluto en condiciones naturales de 3.7 m por lo que se consideran aceptables.

Tabla 4.24 - Comparación de los Errores Obtenidos de la Predicción de Escenarios.

PARAMETROS DE COMPARACION	Error Medio (m)	Medio Absoluto (m)
Aumento de los caudales de los pozos	-0.35	3.5
Condición Aumento de Número de Pozo	-0.35	3.6

4.3.12 Limitaciones del Modelo

Las limitaciones mas significativas del modelo Visual ModFlow se presentaron en la entrada de datos para crear la geometría del acuífero, la cual es muy complicada, el medio geológico se caracteriza por tener sedimentos de poco espesor siendo el medio fracturado el predominante con una topografía muy abrupta. Esto llevó a tomar la capa sedimentaria y la fracturada como una sola y posteriormente separarlas manualmente. El acuífero se trató como el equivalente a un medio poroso, los sistemas de fallas y fracturas se modelaron como zonas de alta conductividad hidráulica para representar la permeabilidad secundaria.

La malla de diferencias finitas por ser rígida no permite la reproducción de capas que se interdigitan y desaparecen. La entrada de datos se realiza para cada celda, lo que podría no reflejar puntualmente los parámetros del acuífero.

Al entrar los datos para los limites Río y Drains , el programa asigna el espesor total de la primera capa y el ancho total de la celda, por lo que puede ser mayor o menor del dato real.

El modelo calcula la carga hidráulica para una celda en particular, lo que podría no ser la aproximación de la carga hidráulica en el pozo. Los parámetros hidráulicos se extienden por todo el tamaño de la celda de 100*100 m.

No se pudo predecir varios escenarios del acuífero por no contar con datos históricos con los cuales poder hacer comparaciones de los resultados obtenidos en el modelo.

En la zona alta y media donde no hay registros de pruebas de bombeo se trabajó con valores teóricos, según el tipo de medio permeable, lo que genera incertidumbre en los datos.

No se tiene conocimiento de la profundidad del basamento hidrogeológico, las máximas profundidades de las perforaciones de pozos es de 120 m, y según la litología de los mismos se encuentran rocas fracturadas, por lo que para efectos del modelo se tuvo que asumir el basamento a esa profundidad.

No se pudo completar las mediciones de niveles del agua subterránea correspondientes a un año hidrológico, para poder entender mejor su dinámica en periodo seco y lluvioso.

V. ESTRATEGIA PARA EL MANEJO DE LA EXPLOTACIÓN DEL CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE Y SANTA CLARA

La disponibilidad de los recursos hídricos para los diferentes usos, no sólo depende de los volúmenes de agua superficial y subterránea, sino también de la calidad de estos recursos. Considerando la importancia de las aguas subterráneas en el suministro para diferentes usos, urge la necesidad de consolidar políticas para proteger los acuíferos contra la explotación excesiva o irracional y contra el deterioro de su calidad debido a la contaminación.

El presente estudio confirma la hipótesis inicial del comportamiento del flujo de agua subterránea en los pozos, y su estrecha relación con el Lago Apanás, al invertirse el gradiente hidráulico con la disminución de la recarga y explotarlo a caudales mayores a los $8,163 \text{ m}^3/\text{día}$. A este efecto, es necesario definir lineamientos orientados que sirvan de fundamentos para las estrategias del uso y conservación del agua superficial y subterránea.

5.1 Agua Subterránea

5.1.1 Explotación del Campo de Pozos

La implementación del modelo matemático como herramienta de estudio ha permitido conocer el comportamiento del agua subterránea, para establecer el caudal máximo de explotación del acuífero de $8,163 \text{ m}^3/\text{día}$ o lo que es lo mismo 2.98 MMC/año . Sin embargo, es necesario tener en cuenta que para el período seco los niveles del agua subterránea bajan considerablemente (ver Tabla 4.20), lo que ocasiona inversión del gradiente hidráulico. Para garantizar el rendimiento

sostenible del campo de pozos se recomienda reducir 20% de los caudales máximos obtenidos del estudio, tomando en consideración el error o incertidumbre hidrogeológico, por tal motivo se recomienda extraer 6,530.4 m³/día lo que equivale a 2.38 MMC/año. En la Tabla 5.1, se muestran los caudales propuestos a reducir por pozo.

Tabla 5.1.- Caudal Mínimo Teórico Simulado.

Pozo de bombeo	Caudal de Bombeo Actual (m³/día)	Caudal de Extracción Mínimo Teórico (m³/día)
AC-1	1005	985
AC-2	1080	985
AC-3	1440	980
AP-10	714	500
AP-8	374	280
AP-6	60	60
AP-5	360	360
AP-1	18	18
Total	5,051	4,168

Tomando en consideración los resultados de extracción máxima obtenidos por el modelo, fue posible hacer proyecciones analíticas a partir de los datos de las pruebas de bombeo escalonada y definitivas de todos los pozos en el sistema y proyectar los volúmenes de agua requerida para los años 2005, 2010 y 2015. Es importante señalar que para este análisis no se tomó en cuenta la ubicación de la

rejilla en los pozos porque ya estaba predeterminado que habría descensos por debajo de la misma.

Se requirió conocer la proyección de la población de la ciudad de Jinotega para 10 años con una dotación aproximada de 0.25 m^3 por persona, lo que nos daría las proyecciones de la demanda de agua hasta el año 2015. (Ver Tabla 5.2).

Tabla 5.2.- Proyecciones de Producción 2005 – 2015.

Proyecciones de Población		Volumen ($\text{m}^3/\text{día}$)		Proyecciones de Extracción Máximas del Campo de Pozos ($\text{m}^3/\text{día}$)				
Año	Población	Demanda	Disponibilidad	AC-1	AC-2	AC-3	AP-10	AP-8
2005	40,502	1165	6180	1600	1640	1660	800	480
2010	44,783	1300	6164.6	1593	1636	1658	799.2	478.4
2015	49,517	1426	6164.6	1593	1636	1658	799.2	478.4

Estos resultados demuestran que la demanda actual y futura para 10 años esta garantizada sin necesidad de sobre explotar las aguas subterráneas y sin provocar inversión del gradiente hidráulico del lago hacia el acuífero, las horas de bombeo por pozo diarias mínimas para cubrir la demanda en el 2005 fue de 4.3 horas, 2010 de 5.3 horas y para el 2015 de 5.6 horas.

5.1.2 Monitoreo de las aguas subterráneas

Generalmente, los criterios técnicos que permiten determinar si un acuífero se encuentra en proceso de explotación intensiva o sobre-explotación son el descenso permanente de los niveles en función de tiempo y espacio. Sin embargo, el descenso de los niveles se puede atribuir no solamente a la explotación intensiva o sobre-explotación de las aguas subterráneas, sino también a la falta de recarga de los acuíferos, ya sea por los periodos largos de sequía o por la expansión poblacional en las zonas de recarga de los acuíferos, por tal motivo es de suma importancia:

- monitorear cada mes los niveles del agua subterránea, lo que la empresa aguadora no realiza, para elaborar mapas de superficie freática, de producción y de conductividad eléctrica, entre otros y poder detectar a tiempo si hay cambios en las direcciones de flujo subterráneo y el posible cambio de la calidad de las aguas.
- Es necesario el monitoreo de la calidad del agua subterránea y la superficial.
- La instalación de una estación meteorológica en la parte alta de la cuenca para llevar registros de la recarga y planificar con mayor precisión la extracciones del agua subterránea.

5.1.3 Ampliar las zonas de Protección

En estudios no publicados realizados por Talavera,2002, sobre la calidad del agua del acuífero Jinotega, se determinó la contaminación por plaguicidas en el campo de pozos Santa Clara y de nitratos en pequeñas concentraciones tanto en Llano Grande como en Santa Clara, esto se debe a que en las periferias de los

pozos aproximadamente a 30 m² se cultivan hortalizas y por lo general hay pastoreo de ganado cerca del AC-3 sobre todo en período seco cuando hay disminución del nivel del lago.

El análisis de partículas para el acuífero Jinotega (Figura 5.1) muestra que las zonas de captura de los pozos Santa Clara se origina en la parte alta o zona de recarga de la microcuenca Santa Clara donde se considera que tiene conexión con la microcuenca Jinotega a través del sistema de fallas.

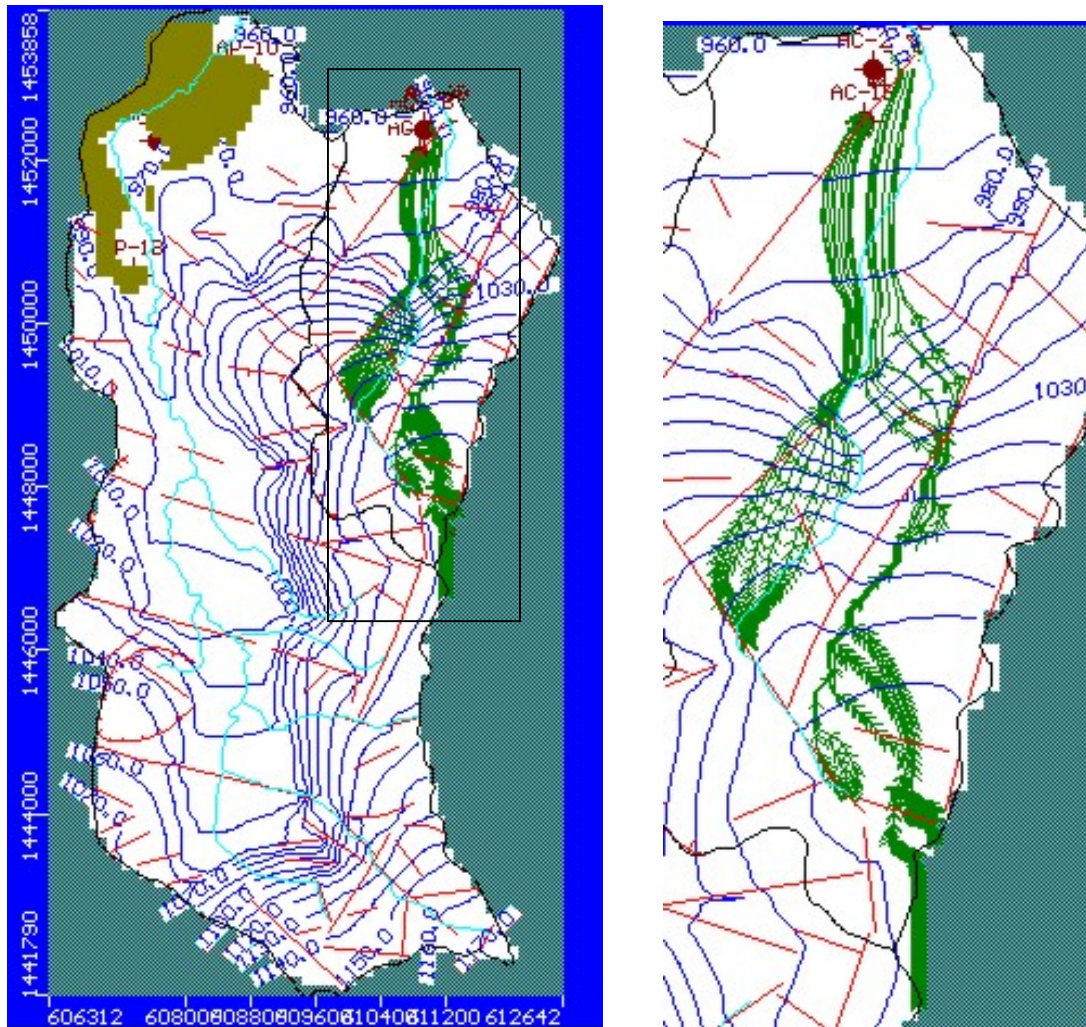


Figura 5.1- Zonas de Captura del Campo de Pozos Santa Clara.

Estas zonas de captura son estimaciones del área de recarga de cada pozo e indican gráficamente el flujo de agua subterránea hacia los pozos. El ancho de estas zonas es de 100 m y cada flecha indica el tiempo de tránsito del agua subterránea correspondiente a 10 años (Figura 5.1). El tiempo de residencia del agua subterránea se calculó a partir de la ley de Darcy en el sector de Santa Clara donde:

$$v = k * i / \theta$$

Donde:

v - Velocidad del Flujo

$k = 0.3$ m/d – Conductividad Hidráulica

$i = 0.027$ – Gradiente Hidráulico

$\theta = 0.35$ - Porosidad

Sustituyendo los valores numéricos se obtiene $v = 2.3 * 10^{-2}$ m/d , estos valores indican que el acuífero tiene vulnerabilidad media a la contaminación.

5.2 Agua Superficial

La importancia del Lago Apanás en este estudio se debe a que se encuentra en estrecha interrelación con el acuífero Jinotega como recarga del mismo al invertirse el gradiente hidráulico.

El mal manejo de la Cuenca del Lago Apanás donde la vertiente de recepción tiene pendientes bien pronunciadas, la gran mayoría de su superficie se encuentra sobreutilizada con prácticas agropecuarias (agricultura de ladera y pastizales) en tierras que tienen vocación forestal o agroforestal. La calidad del agua de los ríos y quebradas se refleja en la calidad del agua del lago.

Entre algunas de las afectaciones previsibles en el Lago Apanás se pueden mencionar: reducción de la capacidad y vida útil del embalse; deterioro de la calidad del agua, la calidad física debido al aporte de sedimentos y la calidad química por presencia de herbicidas, insecticidas, aguas mieles, hidrocarburos, etc., lo que disminuye su disponibilidad para cualquier uso.

En vista a lo expuesto anteriormente, es imprescindible mantener un constante monitoreo de la calidad del agua del lago para evitar que de alguna manera contamine al acuífero, sobre todo en período seco cuando el lago sufre las mayores fluctuaciones de nivel y donde se pudieran aumentar las concentraciones de contaminantes, ver Gráfico 4.5a. Al mismo tiempo rediseñar un plan de manejo de la cuenca del Lago Apanás ya que es sin dudas la mayor fuente de recarga del acuífero en período seco.

Las aguas del río Jinotega que anteriormente contaminaban las aguas del lago por descargar aguas negras de la ciudad, hoy en día son tratadas en plantas de tratamiento que posteriormente son depositadas nuevamente en el río Jinotega cerca del lago Apanás, por tal motivo es necesario mantener un monitoreo de la calidad de las aguas residuales cada tres meses para garantizar que las plantas de tratamiento estén cumpliendo con las normas establecidas para aguas residuales. De igual forma mantener el cauce del río Jinotega limpio de basura, sobre todo en período lluvioso, cuando las fuertes corrientes arrastran la basura hacia el lago Apanás.

Es indispensable la coordinación interinstitucional, población civil, municipal para trabajar conjuntamente con el fin de detener el proceso degradativo del recurso hídrico ya que tiene carácter estratégico y de muy elevado valor socioeconómico para el desarrollo sostenible.

VI. CONCLUSIONES

A - Geología - Hidrogeología

1. El área de estudio se encuentra en el complejo volcánico Jinotega donde predominan las rocas del Terciario Inferior presentando una composición litológica de aglomerados, andesitas basálticas, ignimbritas dacíticas. La geomorfología esta definida por el alto grado de fallas y fracturas que a través de los años ha modelado el relieve del lugar produciendo alto grado de erosión en las fuertes pendientes.
2. Las unidades hidroestratigráficas están compuestas por la unidad de Sedimentos Cuaternarios con espesores que oscilan entre 50 a 77 m, de diferente granulometría por arcillas, arena fina a gruesa, gravas, bolones y limo arcillosa. La unidad de rocas del Terciario Inferior bien fracturadas de composición andesitas basálticas e ignimbritas dacíticas, lo que le dan al acuífero alta permeabilidad secundaria. El basamento no se pudo definir con exactitud debido a que la descripción litológica de los registros de las perforaciones de pozos con profundidad máxima de 120 m reportan roca fracturada, por lo que se tuvo que asumir hasta esa profundidad para efectos del modelo.
3. Los parámetros hidráulicos del acuífero se obtuvieron del análisis de las pruebas de bombeo , utilizando el método Cooper-Jacob, los parámetros analizados fueron transmisividad con un promedio $224 \text{ m}^2/\text{día}$ para Llano Grande y para Santa Clara de $1450.6 \text{ m}^2/\text{día}$, conductividad hidráulica para Llano Grande 3.5 m/día y para Santa Clara de 12.6 m/día y coeficiente de almacenamiento de $2.5 \cdot 10^{-4}$ a $4.7 \cdot 10^{-4}$, el cual fue asumido para todo el campo de pozos debido a que Llano Grande no contaba con pruebas de bombeo con pozo de observación. Esto le da un carácter de semiconfinamiento al acuífero.
4. Por medio del balance hídrico de suelo se determinó el potencial de explotación del recurso hídrico subterráneo del cual resulta la recarga total

del acuífero de 5.74 MMC/año y una producción actual de 1.8 MMC/año, teniendo un potencial disponible de 3.94 MMC/año.

5. La zona de recarga del acuífero se encuentra al suroeste y sureste del área de estudio en las zonas altas de las dos microcuencas.

B - Modelación Numérica

1. El acuífero fue simulado en estado estacionario por no contar con datos históricos, por lo que fue modelado con los datos generados en el 2002 los que servirán de base para futuras investigaciones en la zona.
2. La calibración del modelo se realizó para dos condiciones diferentes, en estado natural donde se ajustaron los parámetros conductividad hidráulica y recarga para reproducir los potenciales observados en los pozos de observación (ver acápite 4.3.8.1). En condición actual de bombeo donde se observó el descenso de los niveles del agua subterránea pero aun mantiene el gradiente hidráulico natural donde el acuífero fluye y descarga hacia el Lago Apanás.
3. Se realizó el análisis de sensibilidad para darle el ajuste final a la calibración del modelo. Se determinó que tanto la recarga como la conductividad hidráulica son sensibles a los cambios, sin embargo, la disminución del basamento no generó cambios significativos al sistema. Esto significa que la elevación del nivel freático (y cantidad de agua subterránea almacenada) es sensible a la disminución en la recarga (por reducciones en la precipitación y/o deforestación – urbanización).
4. Se determinó que a la disminución de la recarga hay inversión del gradiente hidráulico entre el acuífero (pozo AC-3 y AP-10) y Lago Apanás. Esto significa que el agua superficial puede entrar al acuífero, los pozos y al sistema de abastecimiento municipal. Dicha agua puede tener algunos contaminantes (p.e bacterias, nutrientes, plaguicidas). Si la calidad del agua del Lago se mantiene en óptimas condiciones (casi potable), seria beneficioso para el acuífero.

5. El resultado de la simulación al aumentar los caudales de extracción máximo oscila entre los 8163 a 8428 m³/día, correspondiente a 3.07 MMC/año. De igual forma el caudal de extracción mínimo para el período seco es de 4168 m³/día lo que equivale a 1.52 MMC/año.
6. Se determinó el rendimiento sostenible del campo de pozos, mediante estrategias de explotación, a través del caudal máximo de extracción obtenidos por el modelo y proyecciones analíticas para los años 2005, 2010 y 2015. La empresa aguadora de Jinotega esta en capacidad de cubrir la demanda actual y futura para 10 años.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para garantizar el rendimiento sostenible del campo de pozos se recomienda reducir 20% de los caudales máximos obtenidos del estudio, tomando en consideración el error o incertidumbre hidrogeológico, por tal motivo se recomienda no exceder el caudal máximo de extracción del campo de pozos $6,530.4 \text{ m}^3/\text{día}$ lo que equivale a 2.38 MMC/año y para el periodo seco $4,168 \text{ m}^3/\text{día}$ (1.52 MMC/año). Aumentar el caudal de extracción por encima de estos valores causará un descenso en el nivel del agua subterránea y por lo tanto inversión del gradiente hidráulico.
2. Reforestar la zona de recarga de la microcuenca Jinotega, para disminuir los efectos degradativos del suelo, disminuir la escorrentía superficial y facilitar la infiltración del agua.
3. La instalación de una estación meteorológica en la parte alta de la cuenca para llevar registros de la recarga y planificar con mayor precisión la extracciones del agua subterránea.
4. Prestar la debida atención al crecimiento poblacional hacia la parte alta de la microcuenca Jinotega, por ser una de las zonas de recarga del acuífero lo que llevaría a planificar estrategias de protección del recurso, a través del ordenamiento territorial.
5. Mantener control en toda la subcuenca sobre las posibles fuentes de contaminantes, como es la regulación del uso de plaguicidas, las gasolineras por los derrames de combustibles , etc. Tomar medidas especiales en la zona de recarga del acuífero general y las áreas de recarga de los campos de pozos. Para esto se necesita el monitoreo tanto de las fluctuaciones de los niveles del agua subterránea, como el monitoreo de la calidad del agua subterránea y superficial.
6. Las zonas de captura son estimaciones del área de recarga de cada pozo e indican gráficamente la dirección del flujo del agua subterránea y la

trayectoria de las partículas (ver Figura 5.1), debido a esto se recomienda ampliar las zonas de protección de los pozos a 100 m².

7. Completar la información generada por este estudio mediante el seguimiento de planes de monitoreo del agua subterránea y superficial.
8. Es indispensable la elaboración de un Plan de Gestión Integral de los Recursos Hídricos, que involucre las autoridades interinstitucionales, los entes municipales, la población civil.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anderson M.P. and Woessner WW, 1992. *Applied Groundwater Modeling*. Academic Press, Inc. San Diego, California.

Bethune, D.N., 1991. *Field and Modeling Studies of Groundwater Contamination of Laguna Asososca*. Tesis. University of Waterloo, Ontario Canadá.

COSUDE, 2002 . *Análisis de riesgos naturales en el municipio de Jinotega, departamento de Jinotega. Informe ejecutivo*. Managua, Nicaragua.

Cruz, A. G. y Ruiz, M. Julio 2000. *Estimación de la carga de nutrientes en ecosistemas acuáticos Lago Apanás*. UNAN – Managua.

Cruz, Oscar. 1996. *Modelaje del Acuífero Managua y su Rendimiento Sostenible*. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Custodio E. y Llamas M., 1996. *Hidrología Subterránea*. Tomo I y II. Ediciones Omega, Barcelona. España.

Domenico, P.A. y Schwartz, F.W. 1997. *Physical and Chemical Hydrogeology*. Second Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc. N.Y. U.S.A.

Duarte, J. R.,1998. *Estudio Hidrogeológico del Acuífero de Guluchapa, San Salvador, El Salvador*. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

ENACAL, agosto 1998. *Proyecto de mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario de las ciudades de Matagalpa, Jinotega y Corinto. Estudio de impacto ambiental*. Managua, Nicaragua.

Fetter C.W. 1988. *Applied Hydrogeology*. Third Edition, Prentice may, Englewood Cliffs, NJ.

Freeze A. and Cherry J., 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. . U.S.A.

INAA, marzo 1993. *Estudio de factibilidad agua potable y alcantarillado sanitario de las ciudades de Matagalpa y Jinotega*. GITEC CONSULT GMBH y PRODENIC CONSULTORES. Managua, Nicaragua.

INAA, octubre 1996. *Proyecto de mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario de las ciudades de Matagalpa, Jinotega y Corinto. Primer informe especial, Estudio de los Recursos Hídricos*. Managua, Nicaragua.

INAA, octubre 1997. *Proyecto de mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario de las ciudades de Matagalpa, Jinotega y Corinto. Séptimo informe especial, Estudios hidrogeológicos adicionales para Matagalpa y Jinotega. Investigaciones de refracción sísmica en los Valles de Sébaco y Apanás*. Managua, Nicaragua.

INETER, ČGS, 2003. *Investigaciones geológicas de los riesgos naturales en los alrededores de la ciudad de Jinotega (Nicaragua central)*. Informe Ejecutivo. Praga-Managua, Nicaragua.

INETER, Dirección de Recursos Hídricos, Dirección de Meteorología. *Base de datos Hidrológicos y Meteorológicos*. Managua.

INETER, MAGFOR, 2001. *Estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos en la Región del Pacífico de Nicaragua. Región Chinandega-León-Nagarote*. Informe Ejecutivo. Managua, Nicaragua.

INETER, NORAD, 1997. *Plan de Ordenamiento Territorial de los departamentos de Jinotega y Matagalpa*. Managua, Nicaragua.

MARENA, enero 1995. *Diagnóstico de la cuenca alta del Lago Apanás*. Managua, Nicaragua.

Piura L.P., 2000. *Introducción a la Metodología de la Investigación Científica*. Cuarta Edición. Managua, Publicación de la Escuela de Salud Pública de Nicaragua.

Sanders, L. 1998. *A manual of Field Hydrogeology*. 1st Edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Schosinsky G. y Losilla M. 1999. “Modelo Analítico para Determinar la Infiltración con Base en la Lluvia Mensual”. *Revista Geológica de América Central*, 23: 43-55, 2000.

Servicio Geológico, 1972. “*Informes y Estudios. Número dedicado al seminario sobre modelos analógicos y digitales para la explotación y administración de recursos hidráulicos subterráneos*”. Boletín N° 37. Ministerio de Obras Públicas. Barcelona.

Trochez, R. A., 2000. *Estudio Hidrogeológico del Acuífero Siguetepeque, Siguetepeque, Comayagua – Honduras*. Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

WHI. MODFLOW Packages. Reference Manual. The official Documentation for MODFLOW Add-on Packages. 1993. Waterloo Hydrogeologic Software. Waterloo, Ontario, Canadá.

Cablenet. Nicaragua. Departamento de Jinotega. Consultado en: <http://www.cablenet.com.ni/red/nicaragua/deptos/jinotega.html>. Fecha de consulta: noviembre del 2001.

IEA-MARENA, 2001. *Informe Estado del Ambiente en Nicaragua*. Consultado en: www.centrogeo.org.mx/unep/documentos/Nicaragua/NICARAGUAagua.pdf - Fecha de Consulta: Mayo del 2002.

INIES, UNA, IDRC, 1995. *Estudio Sobre el uso de los Recursos Naturales en dos Microcuencas Hidrográficas de los Municipios de Jinotega y Cua-Bocay Departamento de Jinotega, República de Nicaragua*. Volumen II. Consultado en:

<http://www.idrc.ca/library/document/103891/103891s.htm> . Fecha de consulta: noviembre del 2001.

Jarquín, S., 2002. *Los Aborígenes de Jinotega*. Consultado en:

<http://www.manfut.org/jinotega/index.html> Fecha de Consulta: Octubre del 2003.

MANFUT, 2002. *Cronología de los Siglos*. Consultado en:

<http://www.manfut.org/jinotega/cronologia.html> Fecha de Consulta: Abril del 2002.

MARENA, 1996. *Plan de Acción de los Recursos Hídricos de Nicaragua*.

Consultado en: www.marena.gob.ni/biodiversidad/pdf/planes_hidricos/doc05.pdf -

Fecha de Consulta: Junio del 2002.

OSAL, 2004. *Cronología Region Norte – Nicaragua*. Consultado en :

168.96.200.17/ar/libros/osal/osal14/CRN14Nicaragua.pdf - Fecha de Consulta: Septiembre del 2004.

Sánchez, S. , Aguilar, U., Cardenal, L., 1993. *Diagnóstico Ambiental de Nicaragua*. Consultado en: <http://www.ibw.com.ni/~lvalles/nicaragua/>

Fecha de Consulta: Diciembre del 2001.

USGS, 2001. *Respuesta a los Desprendimientos de Tierra Ocasionados por las Lluvias Torrenciales del Huracán Mitch en Siete Áreas de Estudio de Nicaragua*.

Consultado en: pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0412-b/OFR01-412-B.pdf - Fecha de Consulta: Mayo del 2002.

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

ANEXO A

Tabla A-1.- DATOS HIDROMETEOROLOGICOS - PRECIPITACION

Estación: - JINOTEGA / JINOTEGA

Código: 55 020

Años: 1951 - 2002

Parámetro: Precipitación (mm)

Latitud: 13° 05' 06" N

Longitud: 85° 59' 48" W

Elevación: 1032 msnm

Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
1951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1952	-	-	-	210.6	191.2	157.3	98.1	109.7	92.2	232.7	-	-	1091.8
1953	-	-	-	-	-	-	131.1	177.3	113.0	89.0	41.0	94.2	645.6
1954	47.9	7.7	1.7	26.9	251.0	392.0	173.6	87.2	338.6	260.2	37.0	15.1	1638.9
1955	14.1	28.8	14.3	3.8	22.6	102.2	237.4	134.1	302.2	559.8	65.3	46.0	1530.6
1956	15.2	45.3	1.5	0.0	176.3	317.0	108.7	122.3	96.8	107.2	65.7	80.7	1136.7
1957	83.2	15.4	11.4	0.8	122.1	84.1	102.5	102.0	171.0	276.5	49.0	44.8	1062.8
1958	56.8	2.6	1.5	0.0	276.7	192.6	230.4	88.4	51.5	165.7	44.7	28.9	1139.8
1959	32.0	30.5	37.3	4.3	60.2	234.2	76.4	135.2	64.5	134.0	-	16.0	824.6
1960	45.6	14.5	15.5	60.0	63.4	131.8	233.3	216.0	203.6	237.3	86.8	57.2	1365.0
1961	64.7	46.9	15.2	3.0	105.5	284.7	188.1	129.4	160.0	335.3	227.5	83.8	1644.1
1962	69.8	24.2	1.3	-	76.2	320.0	218.5	133.2	186.8	275.3	67.2	49.6	1422.1
1963	82.6	34.4	22.8	67.3	96.5	68.3	65.5	92.0	130.9	103.3	136.0	15.6	915.2
1964	14.7	26.1	0.0	23.4	42.9	270.4	123.7	86.7	156.3	263.9	49.9	58.4	1116.4
1965	11.0	17.9	5.5	3.8	97.6	185.0	103.2	43.5	211.9	115.3	66.4	18.2	879.3
1966	28.5	16.2	47.1	17.2	111.3	291.4	143.4	171.8	164.4	224.2	68.8	35.0	1319.3
1967	69.7	17.2	22.7	31.2	25.1	146.5	131.5	120.1	259.4	165.2	78.2	89.9	1156.7
1968	61.2	7.1	5.8	9.9	244.0	324.2	135.4	90.1	237.2	212.5	47.0	27.5	1401.9
1969	30.4	0.0	6.6	21.8	138.4	315.0	50.5	248.9	206.1	283.9	117.0	39.7	1458.3
1970	36.2	15.9	17.5	90.4	114.9	100.0	210.8	241.8	263.8	91.8	51.8	59.9	1294.8
1971	40.7	24.3	3.1	10.6	37.5	147.1	122.5	103.5	335.7	271.3	82.9	52.4	1231.6

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

1972	23.8	7.3	1.4	0.3	125.5	137.6	83.9	115.8	91.1	140.0	66.8	53.5	847.0
1973	14.5	6.7	2.1	32.4	192.0	172.4	160.6	156.4	212.1	205.1	105.7	39.1	1299.1
1974	84.9	16.5	10.4	25.9	85.9	94.0	125.9	125.2	309.7	131.0	31.0	52.2	1092.6
1975	85.3	8.1	7.2	6.9	20.3	96.5	93.4	140.1	375.4	148.3	172.7	21.0	1175.2
1976	43.3	20.8	18.1	19.3	67.9	202.3	95.7	150.8	65.7	96.0	71.5	45.0	896.4
1977	6.4	31.1	0.8	36.7	174.0	184.2	111.2	70.4	147.5	60.5	65.5	38.3	926.6
1978	29.3	20.4	60.4	3.3	174.2	104.5	232.4	101.3	77.6	110.3	75.5	35.5	1024.7
1979	43.8	3.2	29.9	174.7	39.1	297.2	193.4	189.8	188.7	150.0	134.0	51.0	1494.8
1980	15.9	8.5	17.6	2.6	280.4	165.0	164.2	149.4	160.4	342.5	129.5	32.0	1468.0
1981	11.8	24.5	80.5	56.3	226.9	423.2	135.1	271.9	88.8	125.5	43.2	47.4	1535.1
1982	35.3	37.5	10.8	16.5	362.7	338.8	96.5	45.4	222.6	86.7	54.9	23.3	1331.0
1983	21.3	9.1	12.4	1.0	21.2	156.3	168.1	159.1	121.3	106.9	121.4	35.0	933.1
1984	32.3	15.7	21.7	0.0	19.2	129.4	96.1	201.3	337.2	99.5	27.3	56.5	1036.2
1985	24.7	25.5	7.8	24.1	108.2	112.0	122.8	153.6	79.7	225.1	80.1	46.5	1010.1
1986	17.4	10.7	4.8	1.8	237.6	225.3	163.6	79.7	128.3	142.2	75.7	45.7	1132.8
1987	22.9	2.1	6.7	0.3	38.1	123.7	279.7	218.6	95.9	110.1	25.1	54.5	977.7
1988	49.5	34.5	20.1	47.7	177.8	219.6	138.7	416.7	363.6	333.9	34.8	61.9	1898.8
1989	81.3	48.7	5.2	0.9	70.5	212.8	168.0	80.1	213.2	35.6	109.8	33.3	1059.4
1990	38.7	26.0	22.2	17.5	201.3	137.3	89.8	144.2	136.4	85.7	167.4	45.2	1111.7
1991	26.7	34.4	3.8	4.9	130.5	86.2	96.6	59.5	98.9	152.8	50.6	43.9	788.8
1992	26.5	10.3	5.1	2.2	71.3	72.4	171.9	104.4	185.5	141.8	22.2	107.8	921.4
1993	80.9	14.5	11.3	6.0	362.0	170.0	103.1	94.2	325.9	78.5	50.6	61.7	1358.7
1994	30.9	34.9	17.3	29.3	54.8	95.2	75.3	98.9	155.6	151.0	113.1	35.5	891.8
1995	11.2	9.7	37.4	68.3	48.0	425.2	125.7	442.5	223.1	220.8	56.7	46.5	1715.1
1996	43.8	20.7	9.9	2.5	209.1	105.7	250.2	216.1	188.1	382.6	203.8	22.7	1655.2
1997	30.7	22.3	33.8	1.0	0.9	304.9	97.5	41.6	241.2	185.2	130.1	7.2	1096.4
1998	8.8	0.0	29.9	5.0	125.4	105.1	146.1	141.3	259.1	916.7	137.0	59.3	1933.7

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

1999	64.6	61.3	10.5	11.1	76.3	165.3	134.4	110.9	242.3	196.3	42.2	15.3	1130.5
2000	47.9	21.2	8.2	0.8	83.3	131.9	99.0	53.7	325.8	156.8	42.0	34.5	1005.1
2001	26.7	35.6	1.5	0.4	134.0	88.7	68.2	123.3	154.1	90.8	60.7	30.3	814.3
2002	23.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.4
Suma	1908.8	996.8	739.6	1184.7	6171.8	9346.5	6971.7	7089.4	9560.7	9812.6	3883.1	2194.5	59860.2
Media	39.0	20.8	15.4	24.7	126.0	190.7	139.4	141.8	191.2	196.3	80.9	44.8	1173.7
Máximo	85.3	61.3	80.5	210.6	362.7	425.2	279.7	442.5	375.4	916.7	227.5	107.8	1933.7
Mínimo	6.4	0.0	0.0	0.0	0.9	68.3	50.5	41.6	51.5	35.6	22.2	7.2	0.0

Fuente : Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) – Dirección General de Meteorología.

GRAFICO A-1.- PRECIPITACION TOTAL ANUAL (1954 – 2001) – ESTACION JINOTEGA 55 020

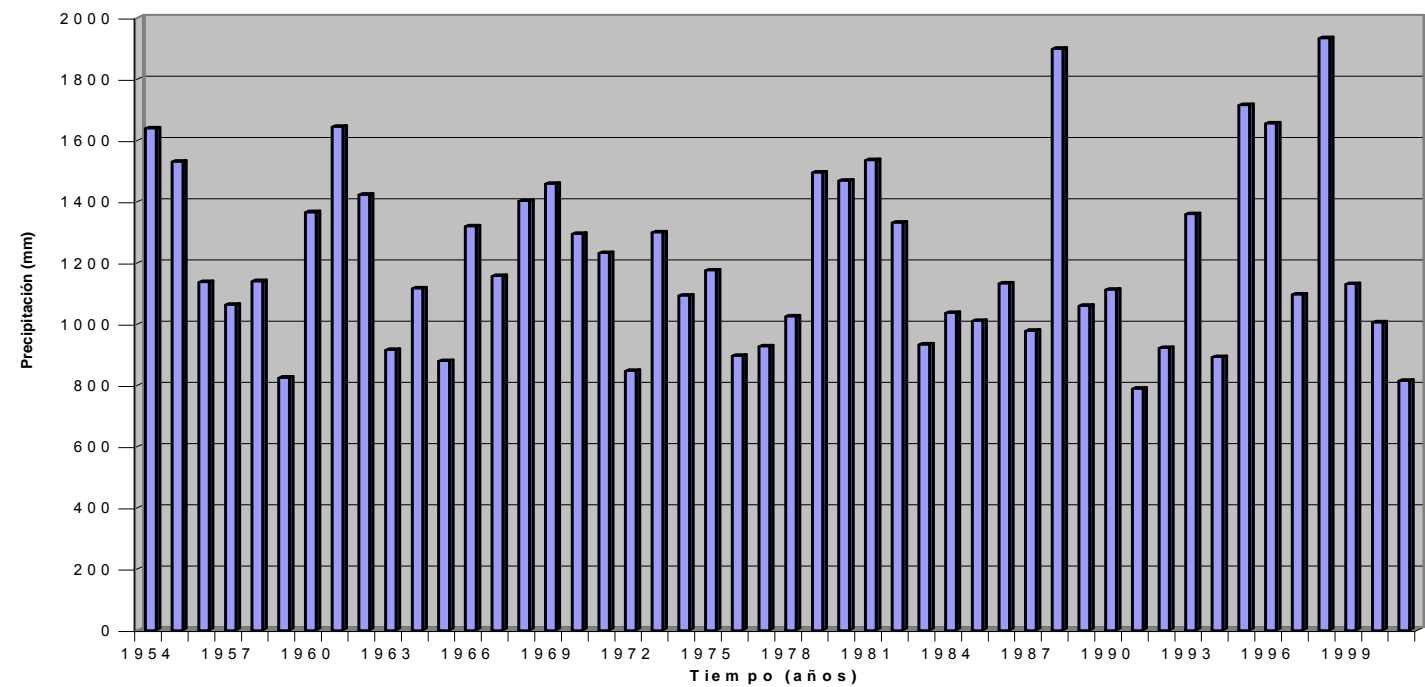


TABLA A-2.- TEMPERATURA MEDIA

Estación: - JINOTEGA / JINOTEGA

Código: 55 020

Años: 1970 - 2001

Parámetro: Temperatura Media (°C)

Latitud: 13° 05' 06" N

Longitud: 85° 59' 48" W

Elevación: 1032 msnm

Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1970	19.6	18.8	20.7	21.6	21.9	21.5	21.1	21.4	21.0	21.4	19.5	18.8	20.6
1971	18.6	19.2	20.7	22.0	22.2	21.0	20.6	21.2	20.6	20.9	20.1	19.2	20.5
1972	19.2	19.4	20.9	22.1	21.8	22.0	21.7	21.1	21.3	21.2	20.8	19.6	20.9
1973	19.0	18.8	22.5	23.5	22.5	21.4	21.0	21.3	21.2	21.0	20.2	18.4	20.9
1974	18.7	18.3	20.3	21.4	22.2	21.4	-	20.2	21.6	19.6	19.3	18.7	20.2
1975	18.5	18.8	20.2	21.0	22.3	21.3	20.3	20.1	20.0	20.4	19.0	17.6	20.0
1976	17.5	17.9	19.5	20.5	21.1	20.8	20.7	22.1	21.0	20.7	19.9	19.2	20.1
1977	18.2	19.2	20.7	22.2	21.3	20.8	20.6	20.7	20.9	20.7	20.0	19.3	20.4
1978	18.5	19.2	20.6	22.0	22.4	20.6	20.2	20.7	20.7	20.7	20.5	19.5	20.4
1979	19.4	19.8	20.9	21.7	22.5	21.0	21.3	20.9	20.4	20.5	19.9	19.3	20.6
1980	19.4	19.2	21.5	22.2	23.8	21.4	21.4	20.8	21.7	20.7	20.5	18.5	20.9
1981	18.4	19.2	20.8	20.6	21.6	21.0	20.9	20.7	21.1	20.5	19.9	19.3	20.3
1982	19.5	19.7	20.4	21.5	21.8	21.2	20.6	21.1	21.0	20.5	19.3	19.1	20.5
1983	19.4	20.2	21.6	22.6	23.6	22.3	21.1	21.1	20.9	20.5	20.3	19.3	21.1
1984	18.3	19.2	20.1	21.7	21.7	21.2	20.2	20.2	20.3	20.3	18.7	18.5	20.0
1985	17.8	18.4	20.0	21.1	21.9	20.9	20.4	20.5	20.8	20.2	19.8	19.1	20.1
1986	18.3	19.6	19.8	21.6	22.0	20.9	20.3	21.0	20.6	20.5	20.2	19.3	20.3
1987	19.0	19.8	21.8	22.6	22.7	22.3	20.9	21.3	21.6	21.3	21.0	20.4	21.2
1988	19.4	19.9	21.1	22.2	22.3	21.5	21.1	20.9	20.8	20.6	20.4	18.8	20.7

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

1989	18.8	18.2	19.9	21.5	22.1	20.9	20.7	21.2	20.8	-	20.1	18.9	20.3
1990	19.4	20.1	21.3	23.1	22.5	21.9	21.3	22.0	22.0	20.9	20.0	19.1	21.1
1991	19.2	19.3	21.0	21.9	22.2	21.8	21.5	21.3	21.6	20.9	19.9	19.5	20.8
1992	19.4	20.1	21.0	22.8	22.8	22.3	20.6	20.9	20.6	20.8	20.5	19.4	20.9
1993	19.2	19.7	20.4	22.5	22.0	21.6	21.2	21.0	20.5	20.9	20.5	19.4	20.7
1994	19.1	19.6	20.7	21.6	22.2	21.3	21.0	21.3	21.2	21.1	20.3	19.7	20.8
1995	19.5	19.9	21.5	22.6	22.6	22.2	21.6	21.8	21.6	21.6	20.5	20.0	21.3
1996	19.0	19.5	20.4	22.6	21.7	21.8	21.2	21.1	21.6	21.1	20.2	19.4	20.8
1997	19.2	19.9	20.6	22.5	23.0	21.4	21.7	22.0	21.9	21.5	20.8	20.1	21.2
1998	20.4	21.5	21.8	23.4	23.5	22.5	21.8	22.1	21.7	21.0	20.6	19.8	21.7
1999	19.5	19.2	20.2	21.9	22.2	21.5	21.2	21.6	21.2	20.6	19.8	18.8	20.6
2000	18.6	19.0	20.7	22.0	22.4	21.5	21.1	21.7	21.3	20.6	20.3	19.4	20.7
2001	18.6	19.5	20.6	22.0	22.8	21.5	21.3	21.7	21.4	21.4	20.3	-	21.0
Suma	606.8	619.8	664.2	704.2	713.3	686.5	650.6	676.9	674.8	644.5	642.8	595.3	661.8
Media	19.0	19.4	20.8	22.0	22.3	21.5	21.0	21.2	21.1	20.8	20.1	19.2	20.7
Máximo	20.4	21.5	22.5	23.5	23.8	22.5	21.8	22.1	22.0	21.6	21.0	20.4	260.0
Mínimo	17.5	17.9	19.5	20.5	21.1	20.6	20.2	20.1	20.0	19.6	18.7	17.6	221.9

Fuente : Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) – Dirección General de Meteorología.

TABLA A-3.- HUMEDAD RELATIVA

Estación: - JINOTEGA / JINOTEGA

Código: 55 020

Años: 1970 - 2001

Parámetro: Humedad Relativa (%)

Latitud: 13° 05' 06" N

Longitud: 85° 59' 48" W

Elevación: 1032 msnm

Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1970	77.6	76.0	74.6	68.6	79.0	81.9	80.5	81.3	81.3	81.4	81.7	81.3	78.8
1971	80.9	75.9	67.6	66.8	70.4	76.1	77.9	77.7	84.5	83.3	82.6	78.1	76.8
1972	79.7	75.3	67.3	65.2	78.6	79.0	77.8	76.9	78.8	79.5	82.0	81.1	76.8
1973	77.7	72.4	62.0	60.1	70.0	77.8	78.1	79.1	79.7	81.9	79.8	77.4	74.7
1974	75.0	76.8	71.7	68.6	74.4	79.7	85.4	89.5	88.2	87.4	83.4	85.0	80.4
1975	85.5	79.3	74.5	71.2	69.5	77.5	75.0	84.9	87.7	85.9	87.8	81.7	80.0
1976	83.3	77.6	74.2	71.5	81.4	86.4	84.7	81.3	86.7	81.1	84.7	84.0	81.4
1977	84.5	82.3	76.5	67.0	82.0	87.3	83.7	86.7	85.7	84.3	83.6	83.4	82.2
1978	79.3	77.7	77.3	70.0	78.5	85.3	86.3	85.5	85.4	84.2	84.4	87.9	81.8
1979	80.8	79.0	77.9	81.6	83.1	94.0	89.2	89.7	93.7	92.6	91.3	92.4	87.1
1980	85.7	82.1	77.2	70.6	73.2	87.7	83.3	85.2	82.3	88.4	83.7	83.5	81.9
1981	76.5	80.0	78.3	79.2	85.1	87.6	81.4	84.6	83.2	84.9	80.5	83.2	82.0
1982	81.8	80.0	77.5	73.5	82.5	86.0	85.3	86.4	86.5	86.7	87.4	87.4	83.4
1983	84.0	80.0	71.2	73.7	71.9	82.2	82.3	85.1	83.8	83.5	80.5	82.4	80.0
1984	81.0	80.2	76.3	70.3	77.5	82.7	83.8	85.3	88.1	87.3	86.0	85.4	82.0
1985	83.3	82.6	76.7	76.4	75.5	81.3	83.1	82.9	83.1	84.8	85.0	84.2	81.6
1986	80.3	76.1	74.0	68.2	77.2	86.3	82.5	82.4	85.0	86.0	84.8	82.9	80.5
1987	78.9	73.5	70.7	63.2	73.1	80.7	85.1	82.9	82.7	79.9	79.2	83.8	77.8
1988	81.5	80.9	73.0	72.2	80.4	85.6	84.2	87.6	87.7	87.3	86.2	86.8	82.8
1989	81.2	77.6	73.6	71.3	76.3	84.6	81.6	81.5	86.7	84.3	84.3	80.6	80.3

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

1990	80.5	73.9	68.6	63.6	74.3	78.9	79.2	78.3	78.4	83.9	86.6	83.2	77.5
1991	81.1	77.6	72.1	74.1	78.1	82.3	81.3	81.5	81.5	84.1	83.9	80.9	79.9
1992	78.7	77.8	70.9	68.8	71.6	79.4	81.2	78.8	82.9	81.1	82.1	82.4	78.0
1993	79.8	76.4	74.1	72.5	82.9	84.0	82.5	85.3	86.0	85.5	83.3	82.9	81.3
1994	80.6	77.2	70.8	72.4	77.4	79.7	79.5	81.5	83.7	83.4	83.0	81.9	79.3
1995	78.7	76.1	74.5	77.2	78.8	83.5	82.8	86.5	87.3	84.7	83.4	84.2	81.5
1996	80.7	76.7	71.1	71.4	84.6	82.9	84.1	83.5	84.3	85.7	86.7	83.6	81.3
1997	83.8	79.9	77.1	74.2	67.2	82.2	81.7	79.3	79.3	82.1	84.5	76.2	79.0
1998	74.5	69.1	69.7	63.5	71.0	79.7	78.9	81.5	84.1	85.7	82.3	80.1	76.7
1999	78.0	77.3	73.5	72.7	78.7	79.3	81.9	82.2	86.1	82.5	79.0	79.5	79.2
2000	78.3	76.7	70.9	66.9	73.6	78.1	78.5	78.5	83.8	82.5	83.0	80.6	77.6
2001	79.3	73.7	69.9	67.7	72.7	79.1	79.9	81.6	82.8	84.4	83.7	-	77.7
Suma	2572.8	2477.5	2335.4	2254.3	2450.9	2638.6	2622.8	2654.8	2701.0	2700.4	2680.4	2567.8	2561.2
Media	80.4	77.4	73.0	70.4	76.6	82.5	82.0	83.0	84.4	84.4	83.8	82.8	80.0
Máximo	85.7	82.6	78.3	81.6	85.1	94.0	89.2	89.7	93.7	92.6	91.3	92.4	1045.6
Mínimo	74.5	69.1	62.0	60.1	67.2	76.1	75.0	76.9	78.4	79.5	79.0	76.2	854.9

Fuente : Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) – Dirección General de Meteorología.

GRAFICO A-2.- HUMEDAD RELATIVA MEDIA (%) – ESTACION JINOTEGA 55 020

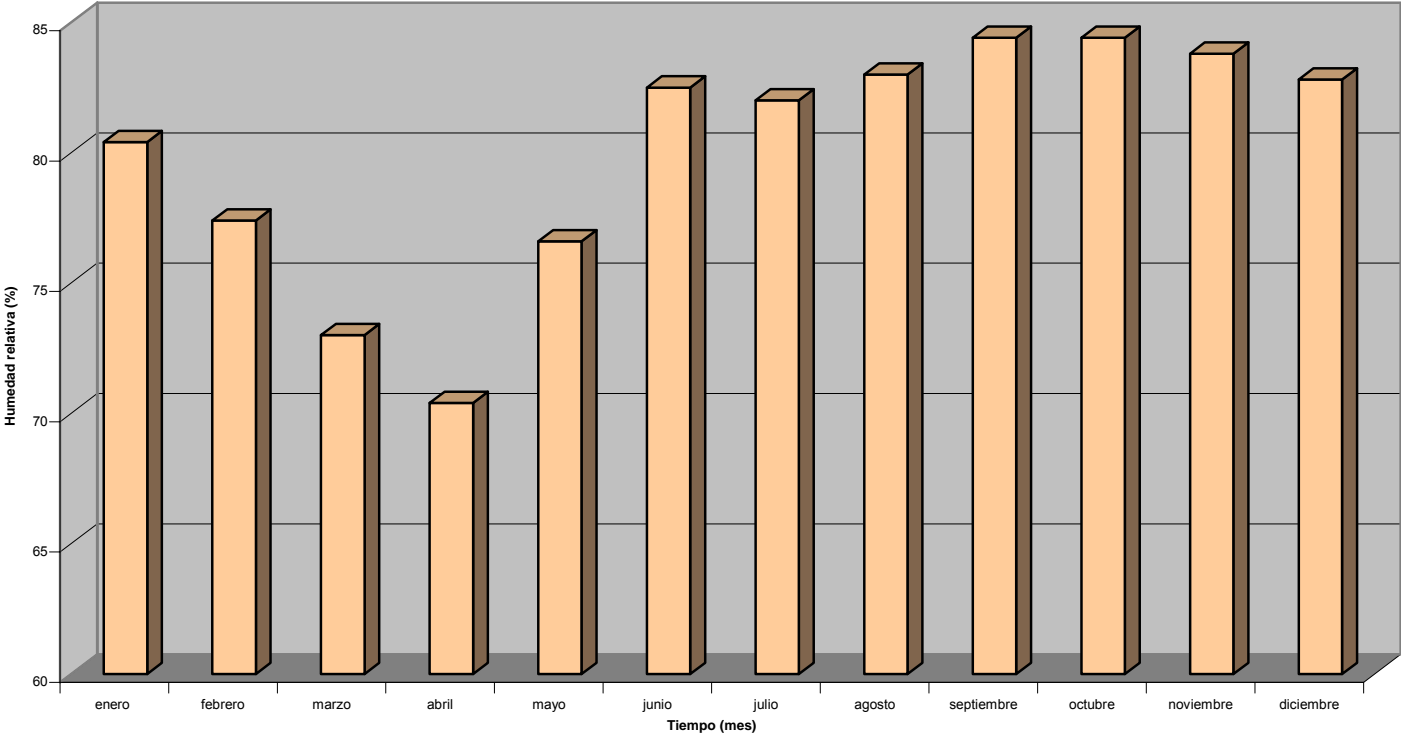


TABLA A-4.- DURACION DE BRILLO SOLAR

Estación: - JINOTEGA / JINOTEGA

Código: 55 020

Años: 1970 - 2001

Parámetro: Brillo Solar (h/dec)

Latitud: 13° 05' 06" N

Longitud: 85° 59' 48" W

Elevación: 1032 msnm

Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1970	5.7	6.5	6.2	7.9	7.0	4.2	3.1	5.3	4.2	5.6	5.6	5.3	5.5
1971	6.3	5.7	8.1	8.1	7.5	5.8	4.9	5.6	3.5	5.6	6.0	5.5	6.1
1972	6.3	8.0	-	8.7	3.6	5.4	5.5	5.4	5.0	6.3	5.3	-	5.9
1973	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.5
1974	-	-	-	-	-	-	-	4.2	4.2	3.4	5.6	5.2	4.5
1975	5.2	6.4	8.2	8.6	5.8	4.6	5.5	3.4	3.2	4.1	2.8	6.3	5.3
1976	4.7	-	-	6.5	6.0	3.6	3.8	5.0	4.8	5.3	5.0	7.1	5.2
1977	7.1	7.6	8.1	7.3	4.9	2.6	4.9	4.7	4.9	5.2	5.6	5.8	5.7
1978	6.7	7.1	7.0	7.8	5.9	-	4.2	3.9	5.5	5.3	5.8	3.7	5.7
1979	-	-	-	-	-	-	-	-	2.8	4.4	4.4	5.3	4.2
1980	5.5	7.1	8.1	7.7	6.1	4.1	4.7	3.6	5.0	-	5.1	5.9	5.7
1981	7.7	6.9	7.9	6.9	5.3	3.9	5.5	4.6	5.9	5.1	5.7	5.8	5.9
1982	6.8	6.9	7.9	8.1	4.4	3.7	4.0	5.6	5.2	5.0	6.0	6.0	5.8
1983	6.8	6.7	7.9	6.7	7.3	5.0	3.6	4.9	4.9	5.6	5.3	6.4	5.9
1984	6.6	6.4	6.9	7.8	6.6	4.9	4.2	4.5	4.4	5.6	6.4	-	5.8
1985	6.9	6.8	8.0	7.8	7.6	4.2	4.2	5.0	5.9	5.0	5.5	6.0	6.1
1986	7.2	8.0	8.6	8.8	5.1	3.0	3.9	5.5	4.6	4.9	5.3	6.2	5.9
1987	6.2	8.2	8.0	8.1	4.8	5.3	2.7	4.3	5.6	6.2	6.7	5.5	6.0
1988	6.1	6.2	8.7	7.7	5.9	4.9	4.0	3.8	3.2	4.0	5.5	4.7	5.4
1989	5.9	6.7	8.6	8.4	6.8	4.4	4.6	5.8	4.6	-	-	-	6.2
1990	5.3	6.1	6.9	7.8	6.0	4.3	5.4	4.7	6.0	6.3	4.2	4.8	5.7

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

1991	6.2	7.9	9.3	7.9	7.7	3.5	-	-	4.6	1.5	-	-	6.1
1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7	5.1	4.4	5.8	4.7
1995	6.6	7.4	7.6	7.0	6.7	5.7	4.9	4.8	4.9	4.9	5.0	4.3	5.8
1996	6.3	7.7	8.4	8.3	4.2	5.2	4.0	5.9	5.8	5.0	4.1	6.0	5.9
1997	5.6	6.8	8.2	8.2	8.0	3.6	5.2	6.3	6.0	5.1	3.3	6.9	6.1
1998	7.3	8.1	8.0	8.5	5.3	4.7	5.3	6.0	5.2	2.8	4.4	5.5	5.9
1999	6.2	6.3	8.1	8.0	5.9	5.4	5.0	6.2	4.6	4.4	5.8	5.6	6.0
2000	6.3	6.6	7.7	7.9	6.0	4.5	4.5	5.7	5.2	5.2	5.9	5.6	5.9
2001	5.9	6.6	9.1	9.0	6.1	5.2	5.5	4.9	5.5	5.0	5.9	-	6.2
Suma	169.1	174.8	191.7	205.2	156.5	111.7	113.0	129.7	138.8	131.8	140.7	135.1	170.9
Media	6.3	7.0	8.0	7.9	6.0	4.5	4.5	5.0	4.8	4.9	5.2	5.6	5.7
Máximo	7.7	8.2	9.3	9.0	8.0	5.8	5.5	6.3	6.0	6.3	6.7	7.1	73.2
Mínimo	4.7	5.7	6.2	6.5	3.6	2.6	2.7	3.4	2.8	1.5	2.8	3.7	0.0

Fuente : Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) – Dirección General de Meteorología.

TABLA A-5.- VELOCIDAD DEL VIENTO.

Estación: - JINOTEGA / JINOTEGA

Código: 55 020

Años: 1970 - 2001

Parámetro: Viento Medio 10m (m/seg)

Latitud: 13° 05' 06" N

Longitud: 85° 59' 48" W

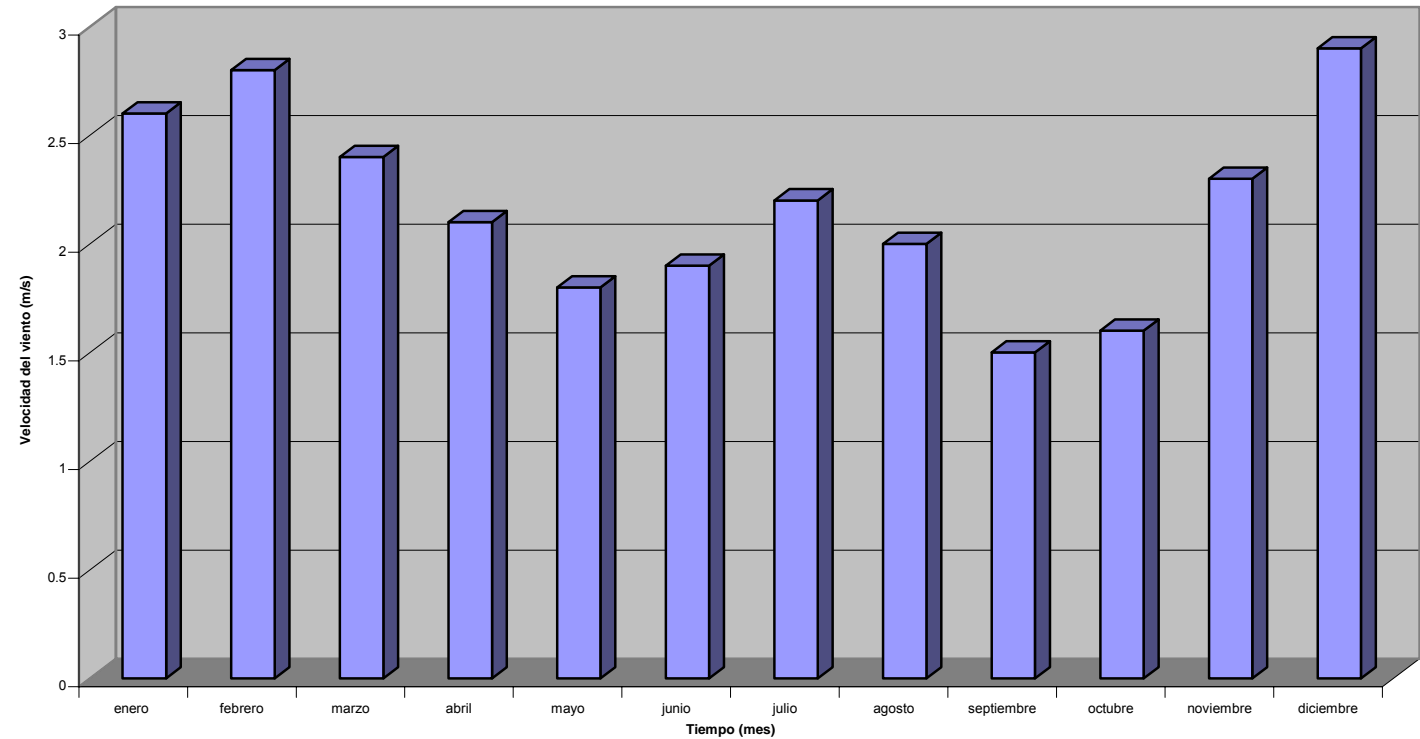
Elevación: 1032 msnm

Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1970	3.0	4.0	3.1	2.5	2.9	2.9	2.6	2.5	2.1	2.2	3.7	4.5	3.0
1971	3.8	3.2	4.2	3.2	0.1	3.1	-	-	2.1	2.2	2.5	3.6	2.8
1972	3.4	3.9	3.3	-	2.6	2.6	-	3.3	3.0	2.7	2.7	3.6	3.1
1973	3.9	4.0	3.2	3.1	2.9	2.7	3.1	2.2	2.1	1.9	3.3	3.5	3.0
1990	-	3.2	2.9	2.6	2.2	2.5	2.6	2.4	2.1	1.5	2.3	3.3	2.5
1991	2.4	3.2	1.9	2.0	2.2	1.7	2.5	2.4	2.0	1.4	2.7	2.8	2.3
1992	2.6	2.5	2.8	2.5	2.3	1.5	2.6	2.3	1.6	2.0	1.8	2.7	2.3
1993	2.1	2.3	2.0	1.6	1.2	1.5	2.1	1.9	1.0	1.5	2.0	2.5	1.8
1994	2.1	2.4	2.1	1.8	1.7	1.7	2.3	1.8	1.7	1.3	1.8	2.1	1.9
1995	2.2	2.3	2.0	1.3	1.5	1.3	1.9	0.8	1.3	1.2	2.3	2.0	1.7
1996	2.2	2.5	2.0	1.6	1.3	1.4	1.6	1.5	1.1	0.9	1.7	2.4	1.7
1997	1.8	2.4	2.1	1.6	2.2	1.3	2.2	2.3	1.3	1.4	1.8	2.3	1.9
1998	2.2	1.5	2.3	2.1	1.7	1.6	1.9	1.6	0.6	1.1	1.8	2.7	1.8
1999	2.3	2.3	1.9	1.7	1.5	1.5	1.8	1.4	0.6	0.9	1.8	2.4	1.7
2000	2.7	2.7	1.5	1.9	1.3	1.7	1.9	1.9	0.6	1.9	1.8	2.7	1.9
2001	2.5	2.4	1.7	2.1	1.4	1.8	1.7	1.7	1.1	1.5	2.1	-	1.8
Suma	39.2	44.5	39.0	31.5	28.9	30.8	30.7	30.0	24.4	25.6	36.1	43.1	35.0
Media	2.6	2.8	2.4	2.1	1.8	1.9	2.2	2.0	1.5	1.6	2.3	2.9	2.2
Máximo	3.9	4.0	4.2	3.2	2.9	3.1	3.1	3.3	3.0	2.7	3.7	4.5	36.1
Mínimo	1.8	1.5	1.5	1.3	0.1	1.3	1.6	0.8	0.6	0.9	1.7	2.0	0.0

Fuente : Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) – Dirección General de Meteorología.

GRAFICO A-3.- VELOCIDAD DEL VIENTO (1990-2001) . ESTACION JINOTEGA 55 020



Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

ANEXO B

FIGURA B-1.- PERFIL HIDROGEOLOGICO LONGITUDINAL. CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE.

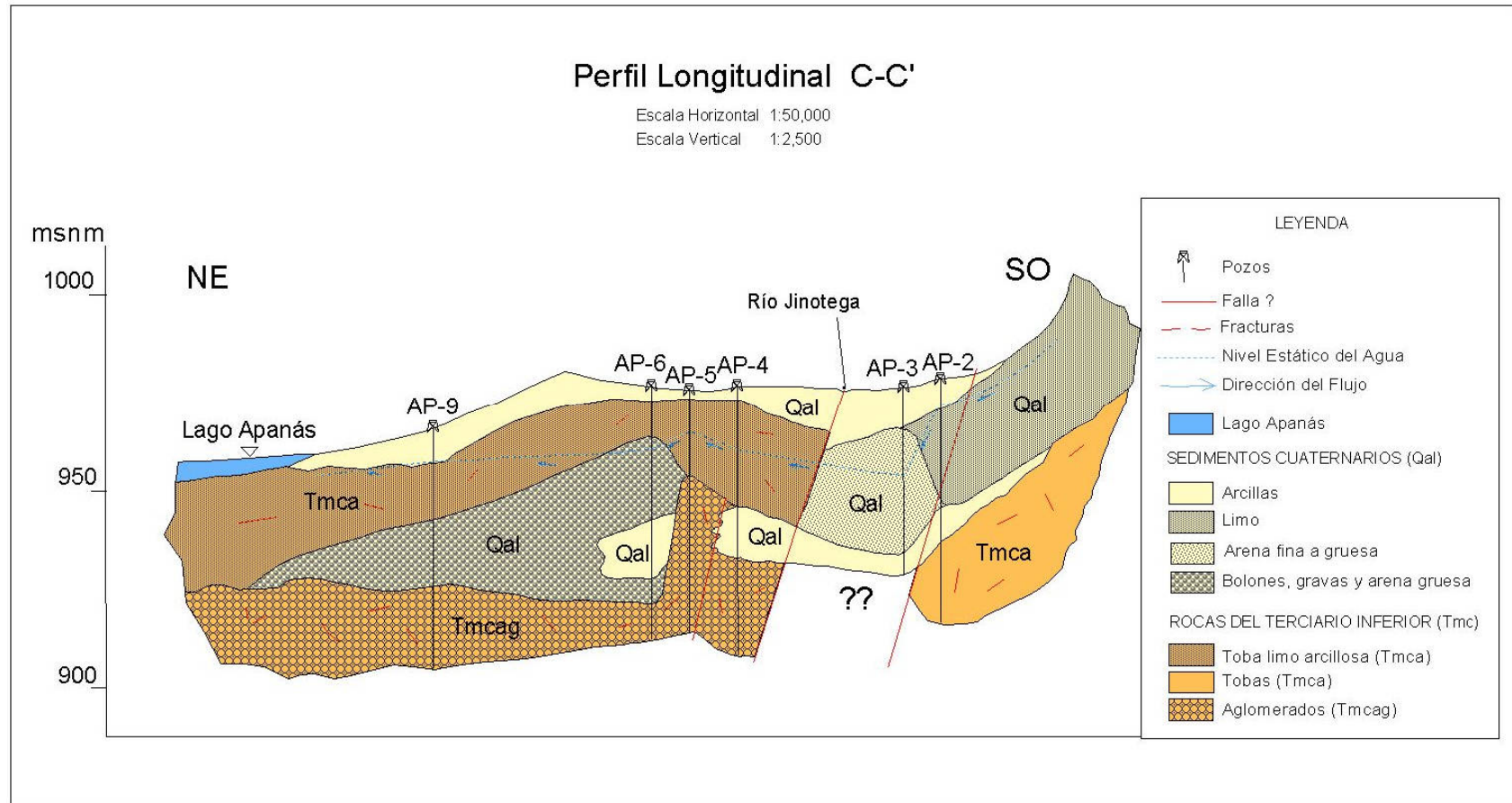


FIGURA B-2.- PERFIL HIDROGEOLOGICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE –SANTA CLARA.

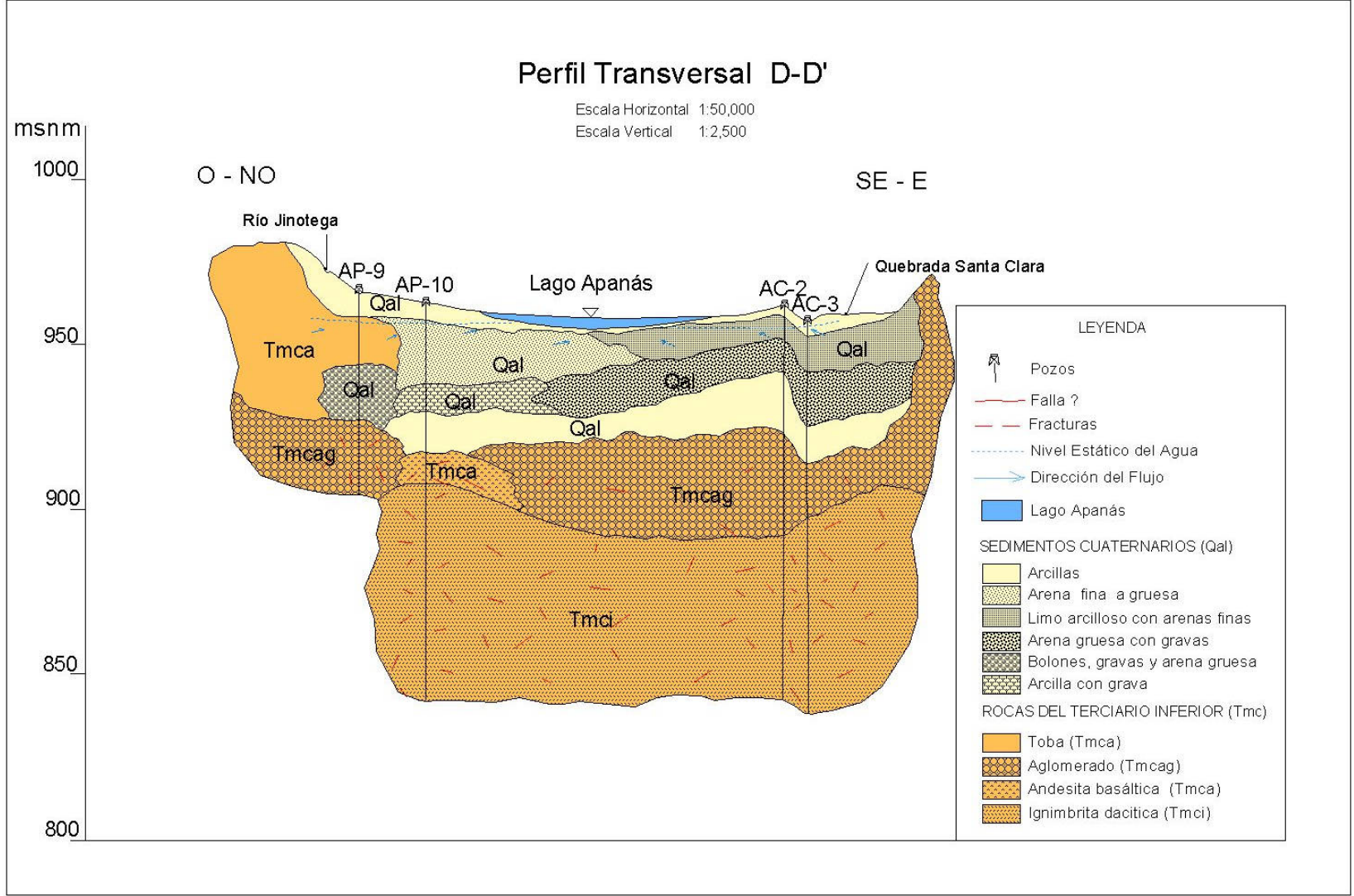


FIGURA B-3.- PERFIL HIDROGEOLOGICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE –SANTA CLARA.

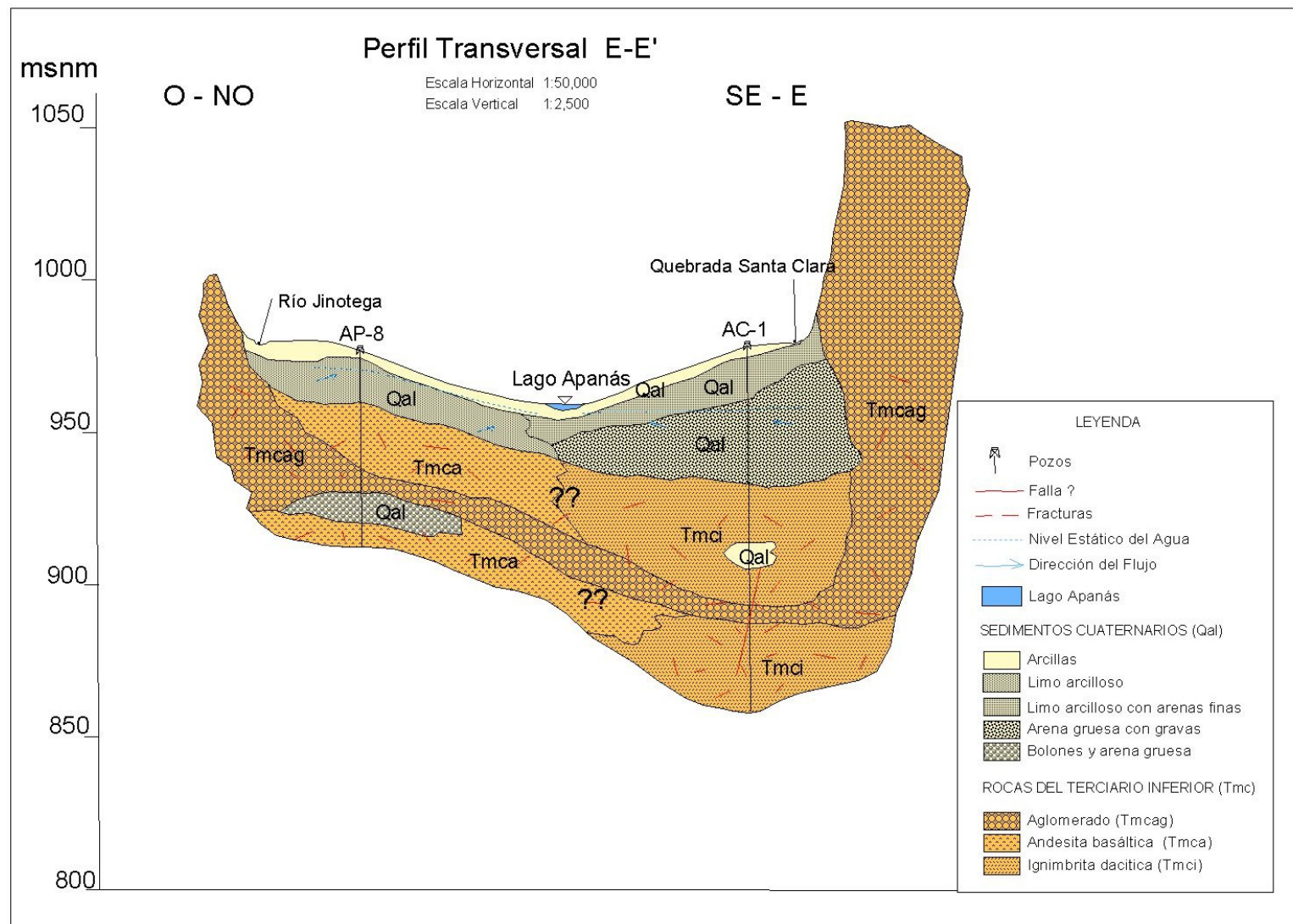


FIGURA B-4.- PERFIL HIDROGEOLOGICO TRANSVERSAL. CIUDAD JINOTEGA.

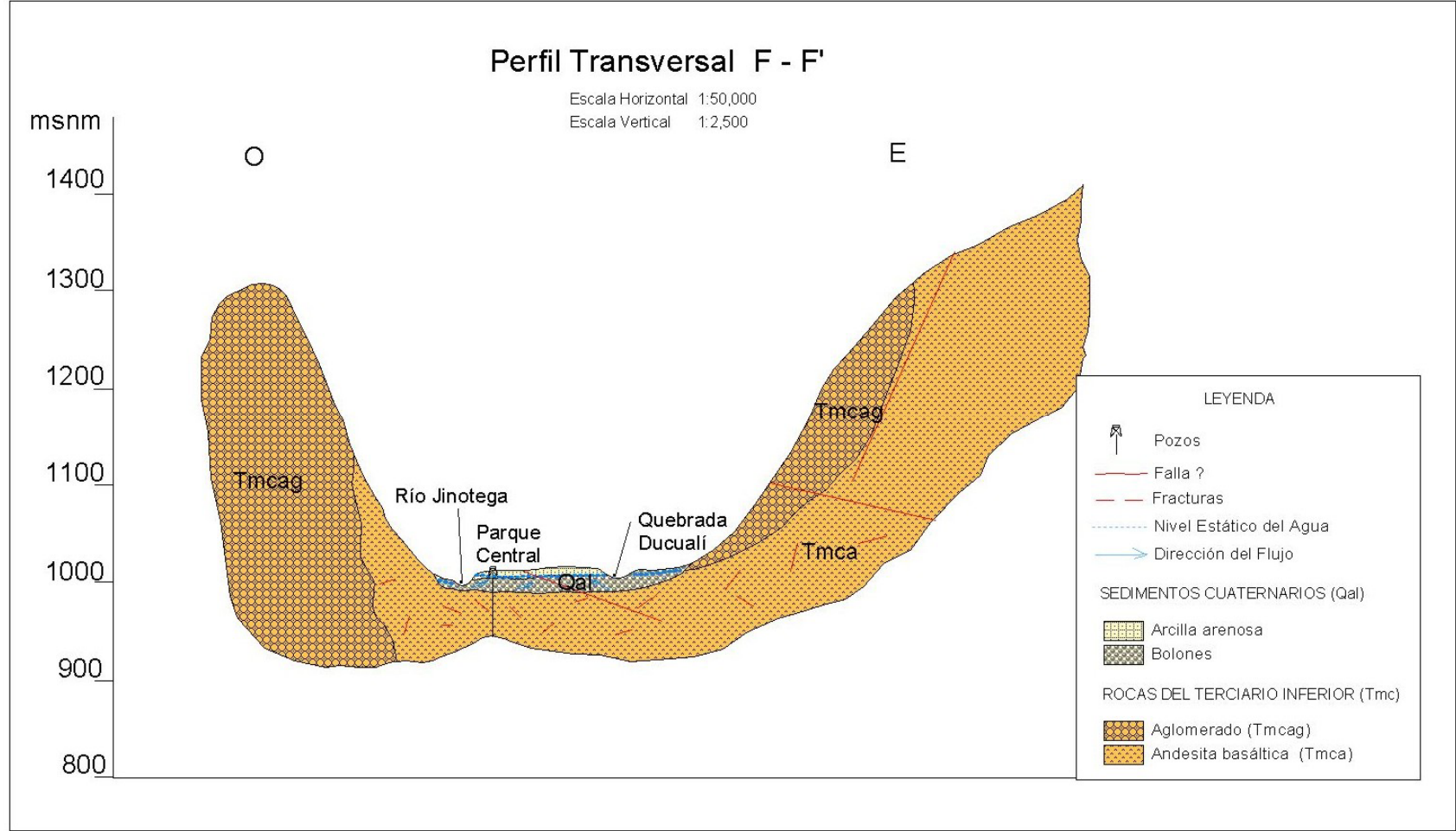


FIGURA B-5.- PERFIL HIDROGEOLOGICO TRANSVERSAL. ZONA ALTA MICROCUENCA JINOTEGA (LLANO LA TEJERA).

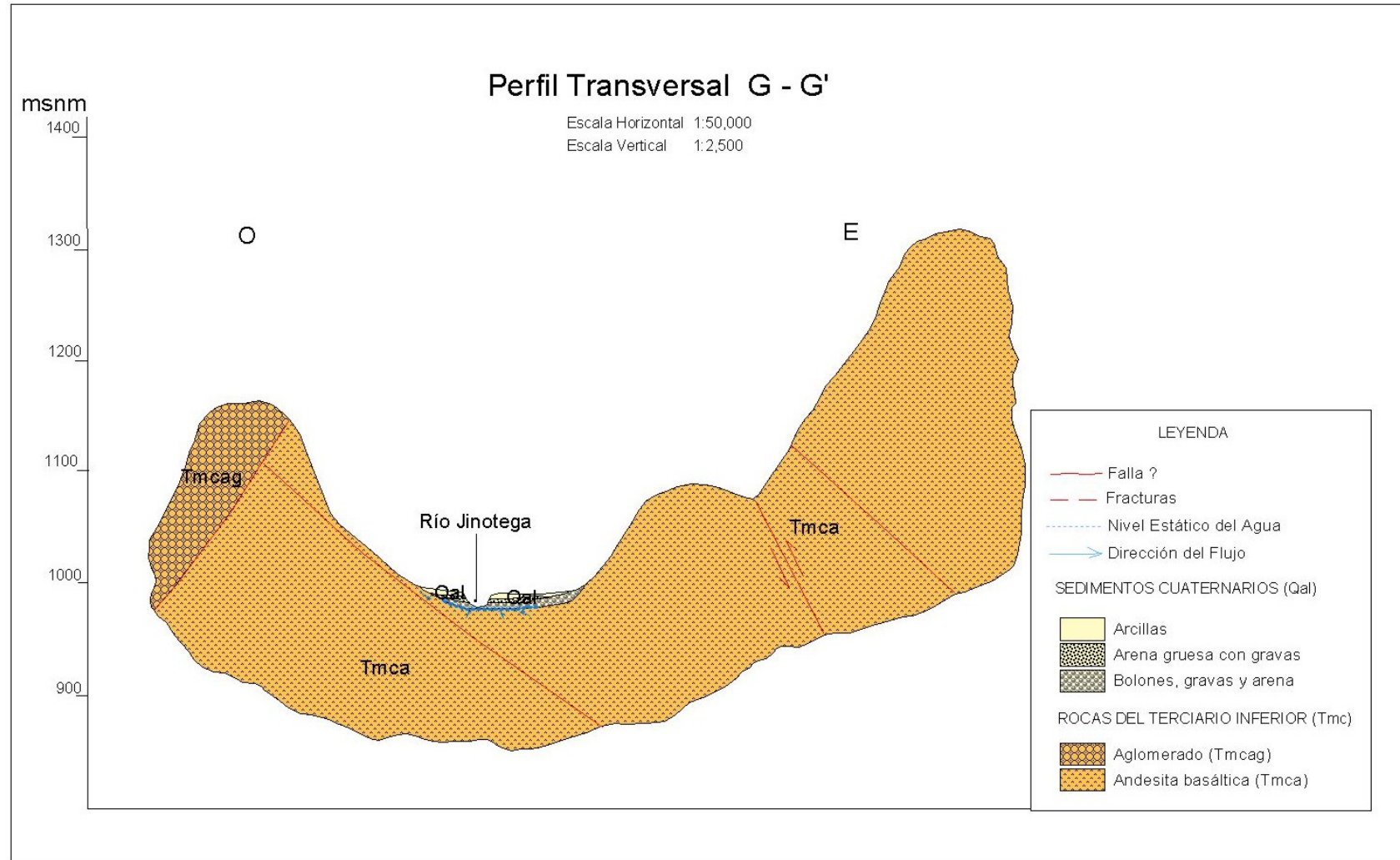
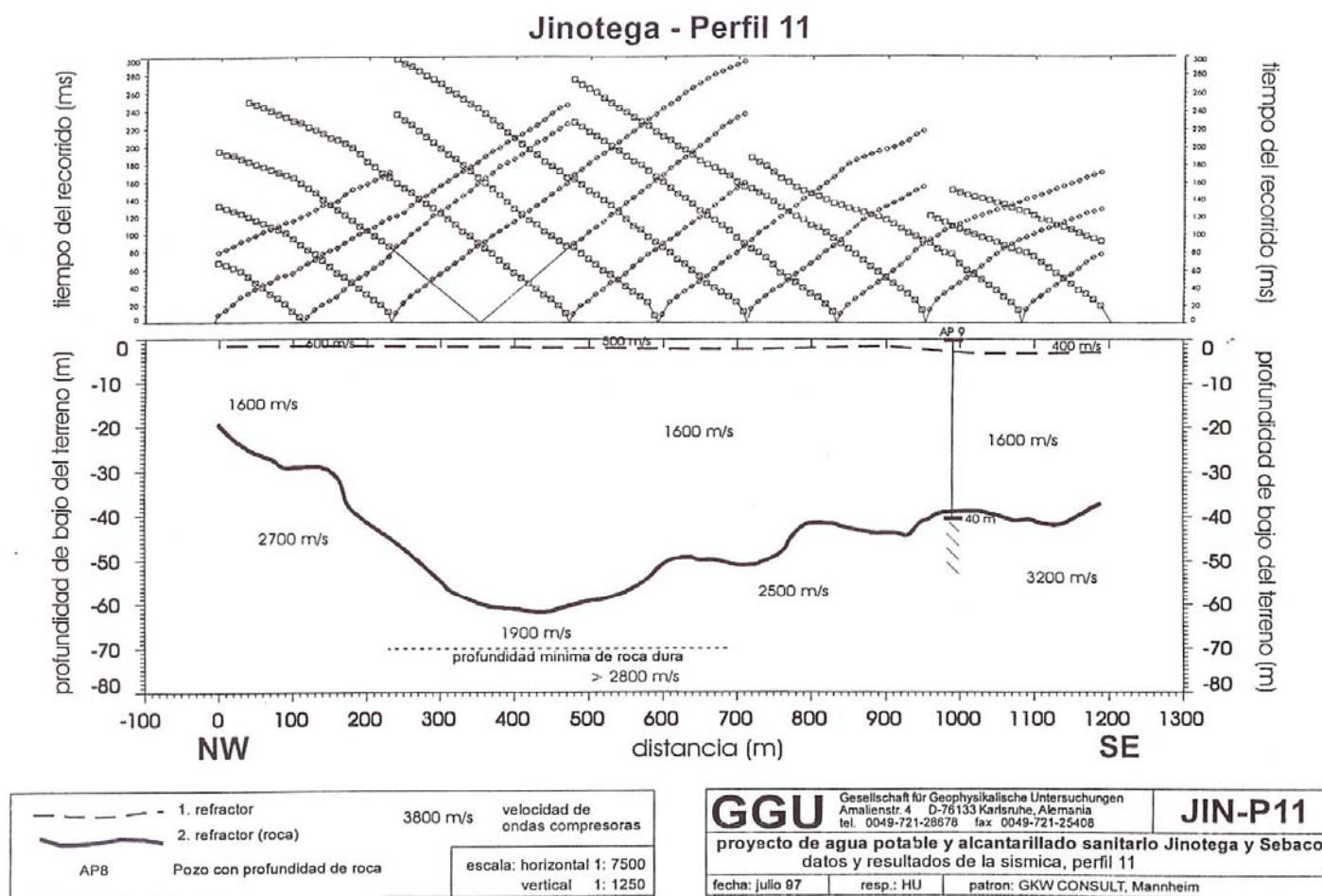
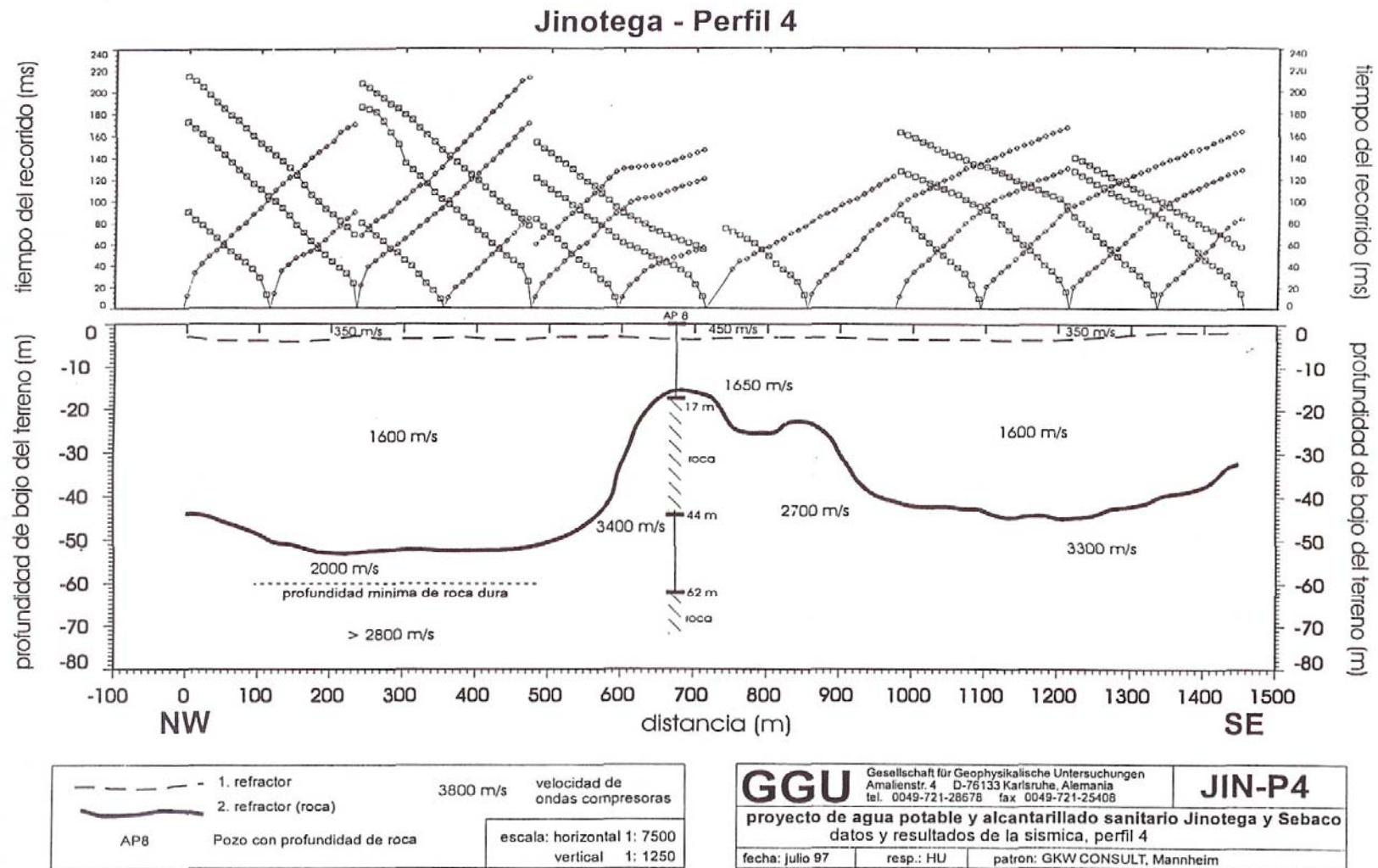


FIGURA B-6.- PERFIL SISMICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE.



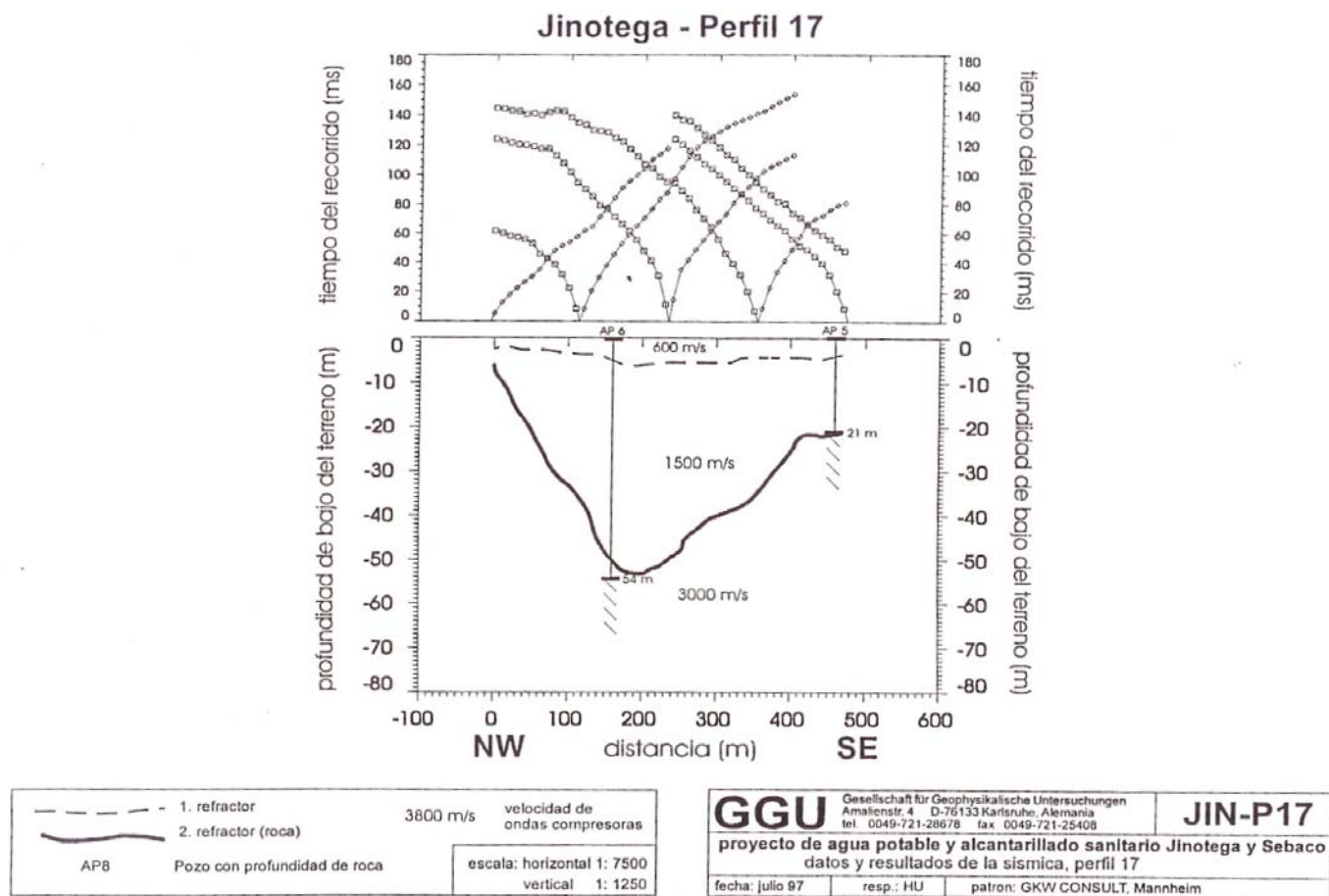
Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

FIGURA B-7.- PERFIL SISMICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE.



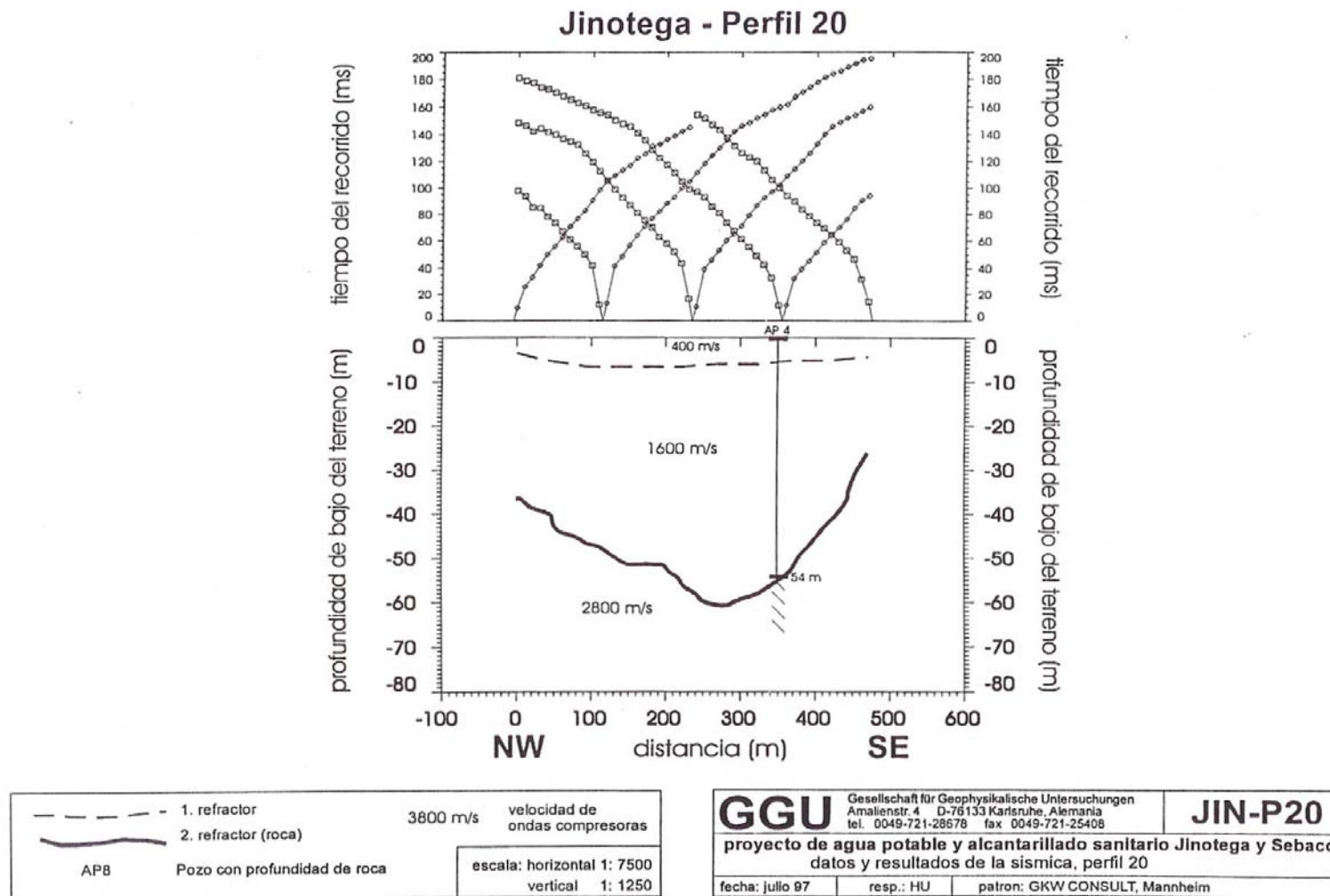
Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

FIGURA B-8.- PERFIL SISMICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE.



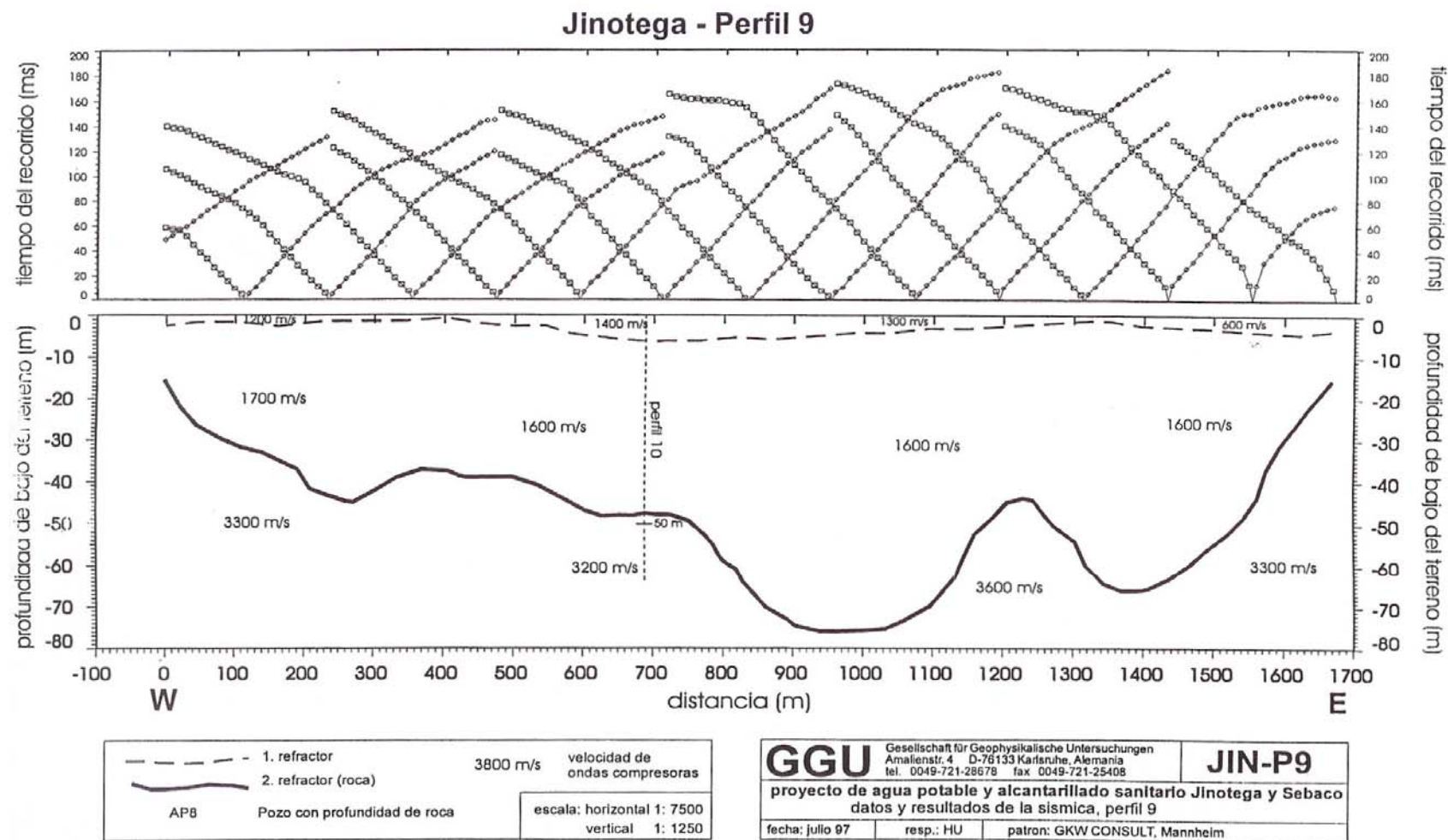
Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

FIGURA B-9.- PERFIL SISMICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS LLANO GRANDE.



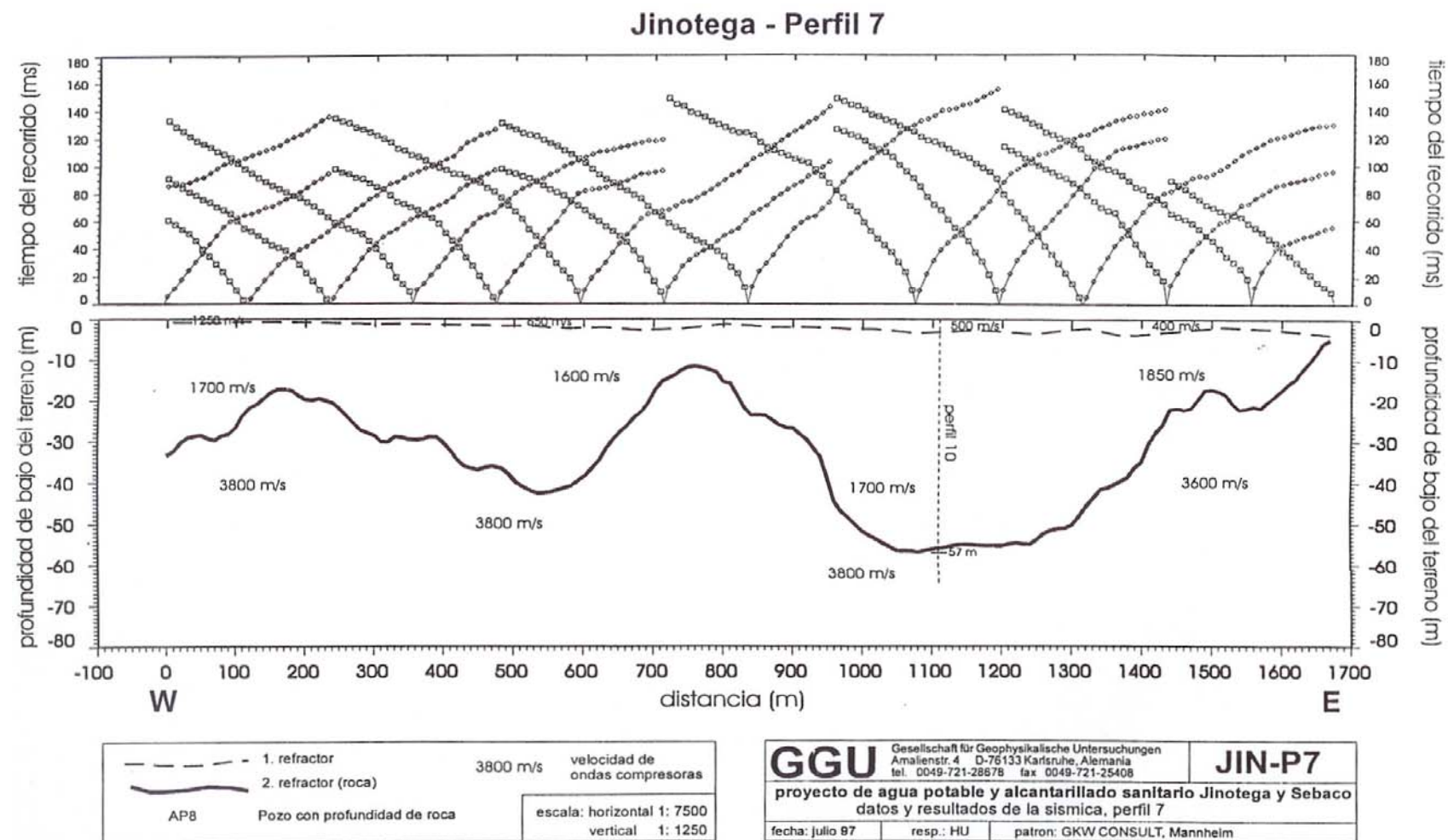
Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

FIGURA B-10.- PERFIL SISMICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS SANTA CLARA.



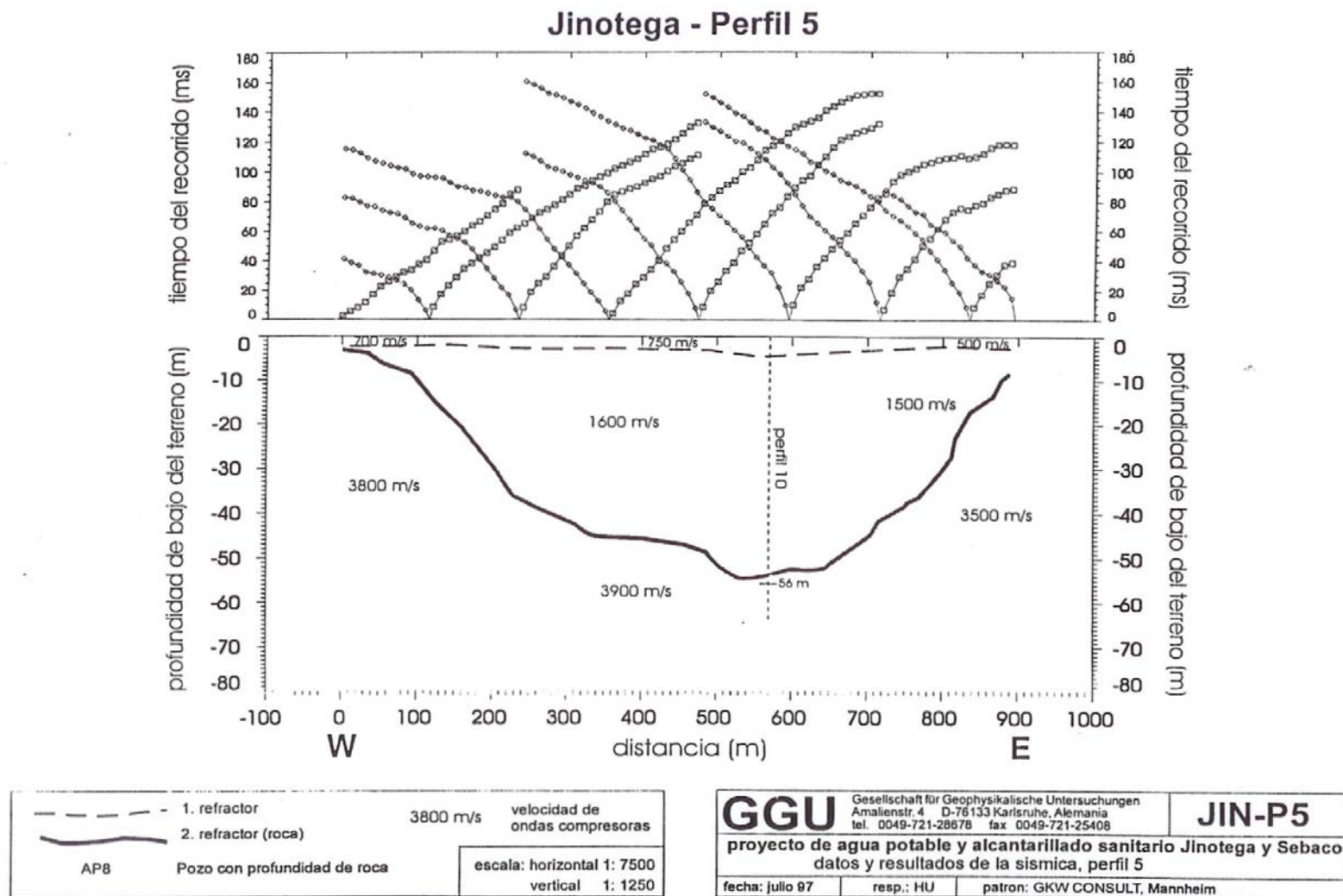
Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

FIGURA B-11.- PERFIL SISMICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS SANTA CLARA.



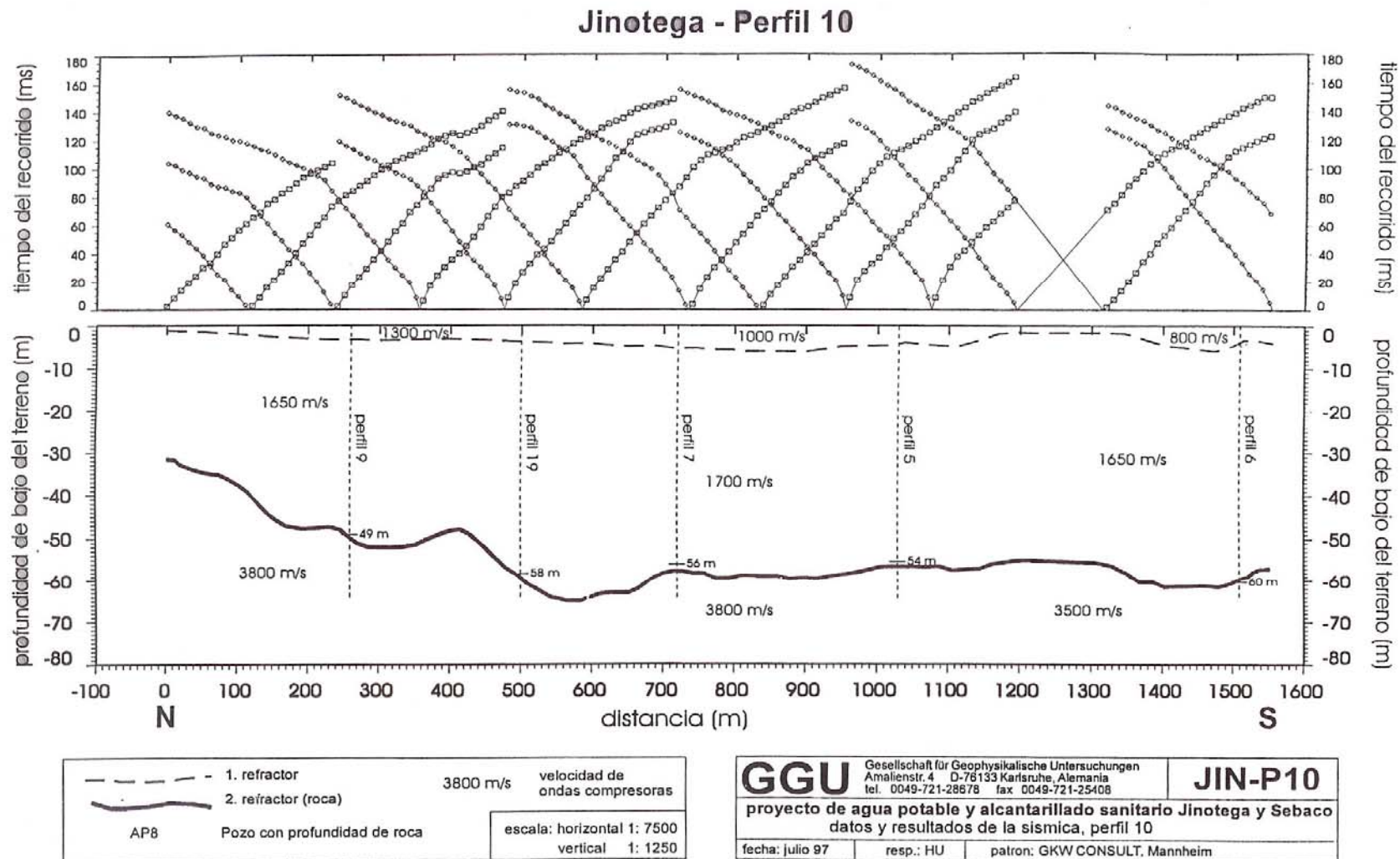
Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

FIGURA B-12.- PERFIL SISMICO TRANSVERSAL. CAMPO DE POZOS SANTA CLARA.



Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

FIGURA B-13.- PERFIL SISMICO LONGITUDINAL. CAMPO DE POZOS SANTA CLARA.



Fuente: Informe Especial 7- GKW Consult, 1997.

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

ANEXO C

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

TABLA C-1.- PRIMER MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel(m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	31/01/2002	1453033	608848	968				
AP-8	31/01/2002	1453088	608531	975	3.6	971.4		3:25p.m.
AC-1	31/01/2002	1452060	610885	983	5.81	977.19		3:45p.m.
AC-2	31/01/2002	1452382	610939	978	3.96	974.04		4:00p.m.
AC-3	31/01/2002	1452493	611118	958	1.99	956.01		4:14p.m.
AP-5	01/02/2002	1452285	601756	976				
AP-6	01/02/2002	1452794	607715	976	26.83		949.2	12:10p.m.
AP-4	01/02/2002	1452309	607521	975	14.93	960.07		12:30p.m.
Infonac4	01/02/2002	1447709	607887	1006	3.27	1002.73		3:05p.m.
Infonac3	01/02/2002	1447682	607887	1006	2.99	1003.01		3:15p.m.
Rastro Viejo 12	01/02/2002	1446917	608129	1015	36.39		978.6	3:45p.m.
Parque	02/02/2002							
San Cristobal	02/02/2002	1447186	608855	1021	13.27	1007.73		8:17a.m.
Linda Vista	02/02/2002	1445746	608847	1038				9:15a.m.

TABLA C-2.- SEGUNDO MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel(m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	13/02/2002	1453033	608848	968				
AP-8	13/02/2002	1453088	608531	975	3.47	971.53		5:35p.m.
AC-1	13/02/2002	1452060	610885	983	5.85	977.15		4:30p.m.
AC-2	13/02/2002	1452382	610939	978	4.01	973.99		4:40p.m.
AC-3	13/02/2002	1452493	611118	958	2.05	955.95		4:52p.m.
AP-5	13/02/2002	1452285	601756	976				
AP-6	13/02/2002	1452794	607715	976	18.96		957.04	6:00p.m.
AP-4	13/02/2002	1452309	607521	975	27.25		947.75	6:25p.m.
Infonac4	14/02/2002	1447709	607887	1006	2.95	1003.05		6:05 a.m.
Infonac3	14/02/2002	1447682	607887	1006	2.39	1003.61		6:11 a.m.
Rastro Viejo 12	14/02/2002	1446917	608129	1015	15.75	999.25		6:35 a.m.
Parque	14/02/2002							
San Cristobal	14/02/2002	1447186	608855	1021	13.36	1007.64		8:40a.m.
Linda Vista	14/02/2002	1445746	608847	1038	46.35		991.65	9:00a.m.

TABLA C-3.- TERCER MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel (m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	27/02/2002	1453033	608848	968	3.53	964.47		5:15 p.m.
AP-8	27/02/2002	1453088	608531	975	4.4	970.6		5:20p.m.
AC-1	27/02/2002	1452060	610885	983	6.7	976.3		4:30p.m.
AC-2	27/02/2002	1452382	610939	978	4.8	973.2		4:40p.m.
AC-3	27/02/2002	1452493	611118	958	2.9	955.1		4:45p.m.
AP-5	27/02/2002	1452285	601756	976				
AP-6	27/02/2002	1452794	607715	976	24.18		951.82	3:00p.m.
AP-4	27/02/2002	1452309	607521	975	39.23		935.77	5:35p.m.
Infonac4	28/02/2002	1447709	607887	1006	3.95	1002.05		6:25 a.m.
Infonac3	28/02/2002	1447682	607887	1006	3.58	1002.42		6:28 a.m.
Rastro Viejo 12	28/02/2002	1446917	608129	1015	13.45	1001.55		6:40 a.m.
Parque	28/02/2002							
San Cristóbal	28/02/2002	1447186	608855	1021	14.38	1006.62		9:07a.m.
Linda Vista	28/02/2002	1445746	608847	1038	31.05		1007	9:30a.m.

TABLA C-4.- CUARTO MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel (m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	13/03/2002	1453033	608848	968	2.95	965.05		4:10 p.m.
AP-8	13/03/2002	1453088	608531	975	3.59	971.41		4:08p.m.
AC-1	13/03/2002	1452060	610885	983	5.97	977.03		5:08p.m.
AC-2	13/03/2002	1452382	610939	978	4.14	973.86		5:00p.m.
AC-3	13/03/2002	1452493	611118	958	2.19	955.81		4:45p.m.
AP-5	13/03/2002	1452285	601756	976				
AP-6	13/03/2002	1452794	607715	976	19.06		956.94	3:17p.m.
AP-4	13/03/2002	1452309	607521	975	39.21		935.79	3:48p.m.
Infonac4	14/03/2002	1447709	607887	1006	2.86		1003.14	6:25 a.m.
Infonac3	14/03/2002	1447682	607887	1006	1.27		1004.73	6:20 a.m.
Rastro Viejo 12	14/03/2002	1446917	608129	1015	36.4		978.6	6:50 a.m.
Parque	14/03/2002							
San Cristobal	14/03/2002	1447186	608855	1021	13.83	1007.2		7:54a.m.
Linda Vista	14/03/2002	1445746	608847	1038	38.35		999.65	9:30a.m.

TABLA C-5.- QUINTO MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel (m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	26/03/2002	1453033	608848	968	3.06	964.94		8:15 a.m.
AP-8	26/03/2002	1453088	608531	975	3.66	971.34		8:25a.m.
AC-1	26/03/2002	1452060	610885	983	6.14	976.86		7:38a.m.
AC-2	26/03/2002	1452382	610939	978	4.18	973.82		7:46a.m.
AC-3	26/03/2002	1452493	611118	958	2.1	955.9		7:52a.m.
AP-5	26/03/2002	1452285	601756	976				
AP-6	26/03/2002	1452794	607715	976	22.58		953.42	8:35a.m.
AP-4	26/03/2002	1452309	607521	975	15.17	959.83		8:45a.m.
Infonac4	26/03/2002	1447709	607887	1006	3.44		1002.56	6:35 a.m.
Infonac3	26/03/2002	1447682	607887	1006	3.1		1002.9	6:40 a.m.
Rastro Viejo 12	26/03/2002	1446917	608129	1015	36.4		978.6	6:50 a.m.
Parque								
San Cristobal	26/03/2002	1447186	608855	1021	14.04	1006.96		10:00a.m.
Linda Vista	26/03/2002	1445746	608847	1038				

TABLA C-6.- SEXTO MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA – LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel (m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	02/05/2002	1453033	608848	968				12:00m.
AP-8	02/05/2002	1453088	608531	975	4	971		12:05p.m.
AC-1	02/05/2002	1452060	610885	983				11:00 a.m.
AC-2	02/05/2002	1452382	610939	978	5.2	972.8		11:10a.m.
AC-3	02/05/2002	1452493	611118	958	3	955		11:15a.m.
AP-5	02/05/2002	1452285	601756	976				
AP-6	02/05/2002	1452794	607715	976	26.5		949.5	12:30p.m.
AP-4	02/05/2002	1452309	607521	975	15.3	959.7		12:17p.m.
Infonac4	02/05/2002	1447709	607887	1006	2.85		1003.2	1:56p.m.
Infonac3	02/05/2002	1447682	607887	1006	2.83		1003.2	1:51p.m.
Rastro Viejo 12	02/05/2002	1446917	608129	1015	36.38		978.62	2:40p.m.
Parque	02/05/2002							
San Cristobal	02/05/2002	1447186	608855	1021	16	1005		3:05p.m.
Linda Vista	02/05/2002	1445746	608847	1038				
Carlos Rizo	02/05/2002	1448900	608886	1028	40.68		987.32	4:20p.m.
Villa norte	02/05/2002	1449008	608748	1033	18.4	1014.6		4:40p.m.
AP-1	03/05/2002	1450998	607524	984	14.95		969.05	8:15a.m.

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

TABLA C-7.- SEPTIMO MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel (m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	31/05/2002	1453033	608848	968				
AP-8	31/05/2002	1453088	608531	975	4.22	970.78		12:30p.m.
AC-1	31/05/2002	1452060	610885	983				
AC-2	31/05/2002	1452382	610939	978	5.43	972.57		09:18a.m.
AC-3	31/05/2002	1452493	611118	958	3.22	954.78		09:25a.m.
AP-5	31/05/2002	1452285	601756	976				
AP-6	31/05/2002	1452794	607715	976	25.48		950.52	13:20p.m.
AP-4	31/05/2002	1452309	607521	975	15.46	959.54		13:30p.m.
Infonac4	31/05/2002	1447709	607887	1006	2.01		1003.99	3:23p.m.
Infonac3	31/05/2002	1447682	607887	1006	1.95		1004.05	3:28p.m.
Rastro Viejo 12	31/05/2002	1446917	608129	1015	11.7	1003.3		4:25p.m.
Parque	31/05/2002							
San Cristobal	31/05/2002	1447186	608855	1021	16.39	1004.6		3:45p.m.
Linda Vista	31/05/2002	1445746	608847	1038				
Carlos Rizo	31/05/2002	1448900	608886	1028	40.22		987.78	4:45p.m.
Villa norte	31/05/2002	1449008	608748	1033				
AP-1	31/05/2002	1450998	607524	984	12		972	2:05 p.m.

TABLA C-8.- OCTAVO MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel (m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	04/07/2002	1453033	608848	968				
AP-8	04/07/2002	1453088	608531	975	4.61	970.39		2:55p.m.
AC-1	04/07/2002	1452060	610885	983				
AC-2	04/07/2002	1452382	610939	978	5.75	972.25		09:30a.m.
AC-3	04/07/2002	1452493	611118	958	3.61	954.39		09:45a.m.
AP-5	04/07/2002	1452285	601756	976				
AP-6	04/07/2002	1452794	607715	976	26.51		949.49	12:20p.m.
AP-4	04/07/2002	1452309	607521	975	15.52	959.48		12:35p.m.
Infonac4	04/07/2002	1447709	607887	1006	1.64		1004.36	4:27p.m.
Infonac3	04/07/2002	1447682	607887	1006	1.44		1004.56	4:30p.m.
Rastro Viejo 12	04/07/2002	1446917	608129	1015	36.4		978.6	4:55p.m.
Parque	04/07/2002							
San Cristobal	04/07/2002	1447186	608855	1021	15.73	1005.27		3:34p.m.
Linda Vista	04/07/2002	1445746	608847	1038				
Carlos Rizo	04/07/2002	1448900	608886	1028	38.86		989.14	1:17p.m.
Villa norte	04/07/2002	1449008	608748	1033	5.58	1027.42		5:35p.m.
AP-1	04/07/2002	1450998	607524	984	14.82		969.18	3:15 p.m.

TABLA C-9.- NOVENO MONITOREO DE NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA - LLANO GRANDE Y SANTA CLARA (2002).

Nº pozos	Fecha	Coordenadas		Elevación (msnm)	Medición nivel (m)	NEA (m)	ND (m)	Hora
		N	E					
AP-10	20/08/2002	1453033	608848	968	12.22		955.78	12:15p.m.
AP-8	20/08/2002	1453088	608531	975	23.13		951.87	11:50a.m.
AP-6	20/08/2002	1452794	607715	976	24.9		951.1	12:45p.m.
AP-4	20/08/2002	1452309	607521	975	16.12	958.88		12:55p.m.
AP-1	20/08/2002	1450998	607524	984	12.22	971.78		1:18p.m.
AC-1	21/08/2002	1452060	610885	983	13.42		969.58	11:00a.m.
AC-2	20/08/2002	1452382	610939	978	25.62		952.38	10:20a.m.
AC-3	20/08/2002	1452493	611118	958	24.77		933.23	10:08a.m.
Carlos Rizo	20/08/2002	1448900	608886	1028	18.62	1009.38		1:55p.m.
Villa norte	20/08/2002	1449008	608748	1033	7.75	1025.25		1:40p.m.

TABLA C-10.- INVENTARIO DE POZOS MICROCUENCA JINOTEGA Y MONITOREO DE NIVELES (2002).

Nº pozos	Código	Coordenadas		Elevación (msnm)	NEA (m)	NEA (msnm)	Observaciones
		N	E				
Infonac4		1447709	607887	1006	3.95	1002.05	pozo excavado
Infonac3		1447682	607887	1006	3.58	1002.42	pozo excavado
Rastro Viejo 12		1446917	608129	1015	13.45	1001.55	pozo perforado
San Cristóbal		1447186	608855	1021	14.38	1006.62	pozo perforado
Linda Vista		1445746	608847	1038	31.05	1006.95	pozo perforado,ND
Carlos Rizo	J-10	1448511	608784	1018	40.68	977.32	pozo perforado
Villa norte	J-8	1448553	608686	1033	18.4	1014.6	pozo perforado
Simeón Centeno	J-1	1451859	610064	980	3.85	976.15	pozo excavado
Santos Zeledón	J-2	1452173	608604	964	3.1	960.9	pozo excavado
Julia de Barreto	J-3	1451690	608673	974	10.6	963.4	pozo excavado
Julia de Barreto	J-4	1451499	608744	974	5.17	968.83	pozo excavado
Otto Palacios	J-5	1451088	608753	982	2.37	979.63	pozo excavado
Heriberto López Gutiérrez	J-6	1451590	607119	980	7.48	972.52	pozo excavado
Pozo comunal	J-9	1448661	608214	998	4.41	993.59	pozo excavado
Bar La Morena	J-7	1449603	607715	996	4.65	991.35	pozo excavado
Sollentuna hem	J-11	1447703	608300	998	1.76	996.24	pozo excavado
Rosario González	J-12	1446437	608259	1018	6.92	1011.08	pozo excavado
Luis Dávila Zamora	J-13	1446417	608298	1018	7.33	1010.67	pozo excavado
José Tranquilino Villagra	J-14	1446020	608345	1033			pe,
Jesús Chavarría	J-15	1445995	608355	1033	10.2	1022.8	pozo excavado
Trinidad Gutiérrez	J-16	1445360	608379	1053	9.27	1043.73	pozo excavado
Juan Altamirano	J-17	1445240	608294	1058	10.05	1047.95	pozo excavado
Justo Zelaya	J-18	1445220	608355	1056	7.61	1048.39	pozo excavado
Justo Pastor Amador	J-21	1444891	608624	1062	4.93	1057.07	pozo excavado
Bonifacio Castro Villagra	J-20	1444921	608601	1058	10.93	1047.07	pozo excavado
Amado Amador	J-23	1444734	608637	1064	13.26	1050.74	pozo excavado
José María Quezada	J-24	1444416	608717	1070	18.3	1051.7	pozo excavado

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

Amada María Hernández	J-26	1444288	609033	1088	16.57	1071.43	pozo excavado
Parróquia	J-27	1444186	608881	1088	7.42	1080.58	pozo excavado
Jesús María Picado	J-28	1444129	609160	1117	16.19	1100.81	pozo excavado
Adrian Duarte Zelaya	J-25	1444443	609208	1095	12.15	1082.85	pozo excavado
Ricardo Gutiérrez Castro	J-22	1444777	608656	1064	9.9	1054.1	pozo excavado
Armando Picado(padre)	J-19	1444834	608300	1058	7.33	1050.67	pozo excavado
Mauro Navarrete	J-31	1443728	608650	1098	11.95	1086.05	pozo excavado
Enrique Luna	J-32	1443689	608856	1104	7.68	1096.32	pozo excavado
María L. Castro Navarrete	J-33	1443736	609037	1099	8.5	1090.5	pozo excavado
Concepción de Jesús Castro	J-29	1443742	608348	1078	7.85	1070.15	pozo excavado
Ignacio Castro	J-30	1443695	608297	1082	8.22	1073.78	pozo excavado
Ramón Castro	J-34	1443471	608190	1097	5.57	1091.43	pozo excavado
Anastacio Pineda	J-36	1443185	608555	1118	15.89	1102.11	pozo excavado
Fausto José Villagra	J-35	1443312	608472	1110	10.43	1099.57	pozo excavado

TABLA C-11.- REGISTRO DE NIVELES DEL LAGO APANÁS

Estación : **69615 - CANAL DE ADUCCION I**

Latitud : 13° 08' 07" N Longitud : 86° 02' 05" W Elevación : 960 msnm

Tipo : LGF

Años : 1965 – 2002

Estación Limnimétrica El Canal

Año	Mes											
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1965/66	953.8	953.2	953.4	953.8	954	954.8	954.89	955	954.7	954.29	953.60	952.91
1966/67	952.50	952.3	953.8	955.1	956.4	956.6	956.76	956.40	956	955.52	954.97	954.64
1967/68	954.3	953.5	953.3	953.8	954.2	954.90	955.96	955.8	955.8	955.50	954.94	954.16
1968/69	953.4	952.7	953.2	953.7	953.5	954.8	956.08	956	955.8	955.24	954.67	953.90
1969/70	953.00	952.3	953.2	953	954.1	954.50	955.87	956.20	956	955.36	954.70	953.94
1970/71	953.1	952.2	951.8	952.4	952.9	954.2	954.40	954	953.50	952.95	952.29	951.69
1971/72	951.3	950.9	951.1	951.5	952.2	953.64	955.38	955.2	955.1	954.73	954.28	953.57
1972/73	952.7	952.1	951.4	951.7	952.4	952.4	952.73	953.1	953.1	952.56	952.02	950.94
1973/74	950.5	950.5	951.6	952.7	953.1	954.30	956.26	956.3	956	955.73	955.24	954.49
1974/75	953.70	953.3	952.5	952.6	953.2	954.4	954.92	954.60	954.30	954.25	953.76	952.84
1975/76	952.10	951.5	950.8	950.6	951.5	954.44	955.19	956.4	955.9	955.49	954.86	954.03
1976/77	953.10	952.1	952.3	952.10	952.5	952.3	951.92	951.8	951.6	951.21	950.88	950.25
1977/78	950.1	950.2	951.40	951.8	951.9	952.36	952.50	952.60	952.6	952.70	952.61	952.44
1978/79	952.2	951.9	952	953.6	953.8	954.1	954.33	954.3	954.2	953.85	953.48	953.05
1979/80	952.83	952.3	953	953.8	954.60	955.22	956.00	955.7	955.6	955.10	954.65	953.45
1980/81	952.31	952.2	953.3	953.50	954.1	955.3	956.58	956.5	956	955.26	954.58	953.70
1981/82	952.90	952.5	954.6	954.3	955.40	955.61	955.83	955.4	955	954.56	953.97	953.06
1982/83	952.14	952.9	954.60	954.6	954	954.4	954.40	954.3	954.3	953.87	953.39	952.74
1983/84	951.93	951.4	951.2	951.8	952.5	953.65	954.34	954.5	954.4	954.07	953.67	953.08
1984/85	952.49	951.7	951.5	951.90	952.90	954.6	955.22	955.2	955	954.70	954.04	953.05
1985/86	952.22	951.6	951.4	951.9	952.8	952.95	954.07	954.3	954.10	953.83	953.32	952.64

Modelación Numérica del Acuífero de Jinotega para el Manejo de la Explotación del Campo de Pozos Llano Grande y Santa Clara.

1986/87	951.52	951.5	952.5	953.4	953.30	953.8	955.11	955.4	955.1	954.32	953.63	952.88
1987/88	952.24	951.80	951.2	953.1	954.8	954.67	954.51	953.9	953.4	952.50	951.97	951.45
1988/89	951.03	950.6	951.1	951.7	954.2	956.1	956.88	956.4	956.2	955.71	955.26	954.46
1989/90	953.60	952.8	953.6	954.1	954.10	955.62	955.71	955.4	954.9	954.44	953.85	953.04
1990/91	951.93	951.2	951.3	951.6	952.8	954.1	954.80	955.4	955.1	954.90	954.30	953.33
1991/92	952.42	951.7	951.6	951.9	952.4	953.35	954.69	954.6	954.6	953.86	953.18	952.44
1992/93	951.77	951.6	951.7	963.2	953.6	954.1	954.30	954.3	954.3	954.17	953.65	953.94
1993/94	951.93	952.1	953	953.5	954.9	956.26	956.19		955.7	955.37	954.70	953.45
1994/95	952.25	951.5										961.2
1995/96	961.4	961.6	962.1	962.8	964.3					964.4	963.6	962.6
1996/97	962	961.9	962	964.1	964.5	965.7	966.5	966.6	966	965.4	964.8	964.2
1997/98	962.9	962	961.7	961.8	965.1	962.7	963.3	964.1	963.9	963.2	962.4	962.4
1998/99	963	962.7	962.2	962.4	963.5	964.7	967.8	967.5	966.6	965.9	965	963.7
1999/00	962.6	961.6	961.6	961.9	962.3	964.6	964.7	964.6	964.2	963.8	963.3	962.5
2000/01	961.7	961.4	961.6	962	962.7	963.5		964.4	964.2	963.5	962.7	962.1
2001/02	961.6	961.7	961.9	962.3	963.5	964.3	964.8	964.6	964.6	964.4	964.1	963.1
2002/03	962.5			963.6	963.5	963.6	964	964.2				
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
Lluvias (mm)	36269	35291	34350	35343	35361	34427	33487	33495	33478	34427	34406.36	35341
Nivel Medio	954.5	953.8	954.2	955.2	955.7	956.3	956.8	957	957	956.3	955.7	955.2

TABLA C-14.- TEXTURA Y PROPIEDADES DEL SUELO.

TEXTURA DEL SUELO	FILTRACIÓN Y PERMEABILIDAD (cm/hr)	TOTAL ESPACIO POROSO % n	PESO ESPECIFICO APARENTE Pa	CAPACIDAD DE CAMPO % Wc	MARCHITEZ PERMANENTE % Wm	HUMEDAD TOTAL UTILIZABLE 2		
						PESO SECO %	VOLUMEN %	cm/m
Arenoso	5 (2.5 – 25.2)	38 (32 – 42)	1.65 (1.55 – 1.80)	9 (6 – 12)	4 (2 – 6)	5 (4 – 6)	8 (6 – 10)	8 (7 – 10)
Franco arenoso	2.5 (1.3 – 7.6)	43 (40 – 47)	1.5 (1.4 – 1.6)	14 (10 – 18)	6 (4 – 8)	8 (6 – 10)	12 (9 – 15)	12 (9 – 15)
Franco	1.3 (0.8 – 2.0)	47 (43 – 49)	1.40 (1.35 – 1.50)	22 (18 – 26)	10 (8 – 12)	12 (10 – 14)	17 (14 – 20)	17 (14 – 19)
Franco arcilloso	0.8 (0.25 – 1.50)	49 (47 – 51)	1.35 (1.30 – 1.40)	27 (23 – 31)	13 (11 – 15)	14 (12 – 16)	19 (16 – 22)	19 (17 – 22)
Arcilloso arenoso	0.25 (0.03 – 0.50)	51 (49 – 53)	1.30 (1.25 – 1.35)	31 (27 – 35)	15 (13 – 17)	16 (14 – 18)	21 (18 – 23)	23 (18 – 23)
Arcilloso	0.5 (0.01 – 0.1)	53 (51 – 55)	1.25 (1.20 – 1.30)	35 (31 – 39)	17 (15 – 19)	18 (16 – 20)	23 (20 – 25)	23 (20 – 25)

Tomado de : Aprovechamiento y modelos de agua subterráneas. Por Amisial y Jegat, Banco de programas, CIDIAT.

Nota: Los intervalos normales son consignados entra paréntesis

1.- Los intervalos filtración real varían mucho con la estructura del suelo y su estabilidad estructura, incluso; aún más de lo indicado en cada columna.

2.- La humedad fácilmente utilizable representa un 75% de la totalmente utilizable.

TABLA C-15.- PRUEBAS DE INFILTRACION SEGÚN METODO PORCHET

tiempo seg.	s refer. mts	h prof. fondo mts	fc mts/seg.
0	0	0.6	
30	0.001	0.599	5.13215E-06
60	0.002	0.598	5.14007E-06
90	0.003	0.597	5.14801E-06
120	0.005	0.595	1.03199E-05
150	0.006	0.594	5.17197E-06
180	0.007	0.593	5.18001E-06
210	0.008	0.592	5.18807E-06
240	0.01	0.59	1.04004E-05
270	0.011	0.589	5.21241E-06
300	0.012	0.588	5.22057E-06
360	0.014	0.586	5.23287E-06
420	0.016	0.584	5.24935E-06
480	0.018	0.582	5.26593E-06
540	0.019	0.581	2.63922E-06
600	0.021	0.579	5.29101E-06
660	0.022	0.578	2.65182E-06
720	0.023	0.577	2.65604E-06
780	0.025	0.575	5.32482E-06
840	0.027	0.573	5.34188E-06
900	0.029	0.571	5.35906E-06
960	0.03	0.57	2.68601E-06
1020	0.032	0.568	5.38503E-06
1080	0.033	0.567	2.69906E-06
1140	0.034	0.566	2.70343E-06
1200	0.036	0.564	5.42006E-06
1500	0.043	0.557	3.82205E-06
1800	0.048	0.552	2.75712E-06
2100	0.053	0.547	2.78011E-06
2400	0.058	0.542	2.80349E-06
3000	0.065	0.535	1.98246E-06
3600	0.072	0.528	2.00633E-06
4200	0.077	0.523	1.44803E-06
4800	0.082	0.518	1.46072E-06
5700	0.088	0.512	1.17995E-06
6600	0.095	0.505	1.39264E-06
7500	0.1	0.5	1.00554E-06
8400	0.105	0.495	1.01472E-06
9600	0.111	0.489	9.22519E-07
10800	0.118	0.482	1.08934E-06
12000	0.123	0.477	7.86912E-07
13200	0.128	0.472	7.94413E-07
14700	0.135	0.465	9.00046E-07
16200	0.14	0.46	6.50412E-07

Ubicación: Santa Clara.
 Coordenadas: N1451570
 E 610613
 Elevación: 988 msnm
 Punto # 1.
 Diámetro : 0.2m
 Profundidad: 0.6m
 Hora de inicio: 10:15 a.m.
 Fecha: 03-05-2002.

Valor del fc = 6.50412×10^{-7}

* Por efecto de
 demostración solo se
 presentará una prueba
 de 9 en total realizadas.

TABLA C-16.- BALANCE HIDRICO DE SUELO. MICROCUENCA JINOTEGA- ZONA 1.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Jinotega Microcuenca Jinotega
 Fecha: 19/05/2002 Zona 1

Textura de Suelo: Arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.
 I: Infiltración.
 CC: Capacidad de Campo.
 PM: Punto de Marchitez.
 PR: Profundidad de Raíces.
 RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible.
 DS: Densidad de Suelo.

P: Precipitación Media Mensual.
 Pi: Precipitación que infiltra.
 ESC: Escorrentia Superficial
 ETP: Evapotranspiración Potencial.
 ETR: Evapotranspiración Real.
 HSi: Humedad de Suelo Inicial.
 HD: Humedad Disponible
 HSf: Humedad de Suelo Final.
 DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
 Rp: Recarga Potencial
 ND: Necesidad de Riego.

fc (mm/d): 590.46
 I (%): 0.86205
 DS (g/cm³): 1.25
 PR (mm): 1500.00
 HSi (mm): 318.75

(%) (mm)
 CC 35.00 656.25
 PM 17.00 318.75
 RAD 18.00 337.50

Concepto	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Total
P (mm)	15.40	24.70	126.00	190.70	139.40	141.80	191.20	196.30	80.90	44.80	39.00	20.80	1211.00
Pi (mm)	13.28	21.29	108.62	164.39	120.17	122.24	164.82	169.22	69.74	38.62	33.62	17.93	1043.94
ESC (mm)	2.12	3.41	17.38	26.31	19.23	19.56	26.38	27.08	11.16	6.18	5.38	2.87	167.06
ETP (mm)	116.80	117.84	86.00	66.72	71.28	74.96	68.24	72.72	63.60	72.16	77.76	88.00	976.08
HSi (mm)	318.75	328.61	341.84	423.71	543.65	603.65	651.89	656.25	656.25	656.25	628.62	597.92	6407.39
HD (mm)	13.28	31.15	131.71	269.36	345.07	407.13	497.97	506.72	407.24	376.12	343.49	297.10	3626.33
ETR (mm)	3.41	8.06	26.75	44.46	60.17	73.99	68.24	72.72	63.60	66.25	64.32	61.44	613.42
HSf (mm)	328.61	341.84	423.71	543.65	603.65	651.89	656.25	656.25	656.25	628.62	597.92	554.40	6643.04
DCC (mm)	327.64	314.41	232.54	112.60	52.60	4.36	0.00	0.00	0.00	27.63	58.33	101.85	1231.96
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	92.23	96.50	6.14	0.00	0.00	0.00	194.86
NR (mm)	441.02	424.19	291.79	134.86	63.71	5.33	0.00	0.00	0.00	33.54	71.77	128.40	1594.62

	(%)	(mm)
CC	27.00	546.75
PM	13.00	263.25
RAD	14.00	283.50

Concepto	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Total
P (mm)	15.40	24.70	126.00	190.70	139.40	141.80	191.20	196.30	80.90	44.80	39.00	20.80	1211.00
Pi (mm)	9.72	15.58	79.49	120.30	87.94	89.45	120.62	123.84	51.04	28.26	24.60	13.12	763.96
ESC (mm)	5.68	9.12	46.51	70.40	51.46	52.35	70.58	72.46	29.86	16.54	14.40	7.68	447.04
ETP (mm)	116.80	117.84	86.00	66.72	71.28	74.96	68.24	72.72	63.60	72.16	77.76	88.00	976.08
HSi (mm)	263.25	270.13	279.12	336.41	419.86	458.66	488.55	542.06	546.75	536.49	503.58	471.16	5116.01
HD (mm)	9.72	22.46	95.35	193.46	244.55	284.87	345.92	402.64	334.54	301.50	264.93	221.03	2720.96
ETR (mm)	2.83	6.60	22.19	36.86	49.13	59.57	67.11	72.72	61.30	61.17	57.03	52.36	548.86
HSf (mm)	270.13	279.12	336.41	419.86	458.66	488.55	542.06	546.75	536.49	503.58	471.16	431.92	5284.68
DCC (mm)	276.62	267.63	210.34	126.89	88.09	58.20	4.69	0.00	10.26	43.17	75.59	114.83	1276.32
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.42	0.00	0.00	0.00	0.00	46.42
NR (mm)	390.58	378.88	274.15	156.76	110.23	73.59	5.82	0.00	12.56	54.16	96.33	150.47	1703.54

TABLA C-18.- BALANCE HIDRICO DE SUELO. MICROCUENCA JINOTEGA- ZONA 3.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio:

Fecha:

Jinotega

Microcuenca Jinotega

19/05/2002

Zona 3

Textura de Suelo:

Simbología

Franco

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentía Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

ND: Necesidad de Riego.

fc (mm/d):

I (%):

DS (g/cm³):

PR (mm):

HSi (mm):

447.21

0.8043

1.40

1300.00

182.00

CC

PM

RAD

(%)

(mm)

22.00

400.40

10.00

182.00

12.00

218.40

Concepto	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Total
P (mm)	15.40	24.70	126.00	190.70	139.40	141.80	191.20	196.30	80.90	44.80	39.00	20.80	1211.00
Pi (mm)	12.39	19.87	101.34	153.37	112.11	114.04	153.77	157.88	65.06	36.03	31.37	16.73	973.95
ESC (mm)	3.01	4.83	24.66	37.33	27.29	27.76	37.43	38.42	15.84	8.77	7.63	4.07	237.05
ETP (mm)	116.80	117.84	86.00	66.72	71.28	74.96	68.24	72.72	63.60	72.16	77.76	88.00	976.08
HSi (mm)	182.00	190.07	200.14	267.72	365.15	400.40	400.40	400.40	400.40	400.40	373.24	346.16	3926.49
HD (mm)	12.39	27.93	119.48	239.10	295.26	332.44	372.17	376.28	283.46	254.43	222.61	180.89	2716.44
ETR (mm)	4.32	9.79	33.76	55.95	71.28	74.96	68.24	72.72	63.60	63.19	58.45	51.95	628.20
HSf (mm)	190.07	200.14	267.72	365.15	400.40	400.40	400.40	400.40	400.40	373.24	346.16	310.94	4055.43
DCC (mm)	210.33	200.26	132.68	35.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.16	54.24	89.46	749.37
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	5.58	39.08	85.53	85.16	1.46	0.00	0.00	0.00	216.81
NR (mm)	322.81	308.31	184.92	46.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.13	73.55	125.51	1097.25

TABLA C-19.- BALANCE HIDRICO DE SUELO. MICROCUENCA SANTA CLARA - ZONA 1.

BALANCE HIDRICO DE SUELOS

Zona de Estudio: Jinotega Microcuenca Santa Clara

Fecha: 18/05/2002 Zona 1

Textura de Suelo: Arcilloso

Simbología

fc: Capacidad de Infiltración.

I: Infiltración.

CC: Capacidad de Campo.

PM: Punto de Marchitez.

PR: Profundidad de Raíces.

RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible.

DS: Densidad de Suelo.

P: Precipitación Media Mensual.

Pi: Precipitación que infiltra.

ESC: Escorrentia Superficial

ETP: Evapotranspiración Potencial.

ETR: Evapotranspiración Real.

HSi: Humedad de Suelo Inicial.

HD: Humedad Disponible

HSf: Humedad de Suelo Final.

DCC: Déficit de Capacidad de Campo.

Rp: Recarga Potencial

ND: Necesidad de Riego.

fc (mm/d): 1101.60

I (%): 0.97756

DS (g/cm³): 1.25

PR (mm): 1500.00

HSi (mm): 318.75

(%) (mm)

CC 35.00 656.25

PM 17.00 318.75

RAD 18.00 337.50

Concepto	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Total
P (mm)	15.40	24.70	126.00	190.70	139.40	141.80	191.20	196.30	80.90	44.80	39.00	20.80	1211.00
Pi (mm)	15.05	24.15	123.17	186.42	136.27	138.62	186.91	191.90	79.08	43.79	38.12	20.33	1183.83
ESC (mm)	0.35	0.55	2.83	4.28	3.13	3.18	4.29	4.40	1.82	1.01	0.88	0.47	27.17
ETP (mm)	116.80	117.84	86.00	66.72	71.28	74.96	68.24	72.72	63.60	72.16	77.76	88.00	976.08
HSi (mm)	318.75	329.93	344.94	437.78	573.78	641.82	656.25	656.25	656.25	656.25	632.88	605.04	6509.93
HD (mm)	15.05	35.33	149.36	305.45	391.31	461.69	524.41	529.40	416.58	381.29	352.26	306.63	3868.76
ETR (mm)	3.87	9.14	30.33	50.42	68.23	74.96	68.24	72.72	63.60	67.16	65.96	63.42	638.06
HSf (mm)	329.93	344.94	437.78	573.78	641.82	656.25	656.25	656.25	656.25	632.88	605.04	561.96	6753.14
DCC (mm)	326.32	311.31	218.47	82.47	14.43	0.00	0.00	0.00	0.00	23.37	51.21	94.29	1121.86
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.23	118.67	119.18	15.48	0.00	0.00	0.00	302.56
NR (mm)	439.25	420.01	274.14	98.77	17.47	0.00	0.00	0.00	0.00	28.37	63.00	118.87	1459.88

Zona de Estudio: Jinotega Microcuenca Santa Clara
Fecha: 18/05/2002 Zona 2
Textura de Suelo: Franco-arcilloso

fc: Capacidad de Infiltración.	P: Precipitación Media Mensual.
I: Infiltración.	Pi: Precipitación que infiltra.
CC: Capacidad de Campo.	ESC: Escurrentia Superficial
PM: Punto de Marchitez.	ETP: Evapotranspiración Potencial.
PR: Profundidad de Raíces.	ETR: Evapotranspiración Real.
RAD (CC-PM): Rango de Agua Disponible.	HSI: Humedad de Suelo Inicial.
DS: Densidad de Suelo.	HD: Humedad Disponible.
	HSF: Humedad de Suelo Final.
	DCC: Déficit de Capacidad de Campo.
	Rp: Recarga Potencial
	NR: Necesidad de Riego.

fc (mm/d):	203.53		(%)	(mm)
I (%):	0.63085	CC	27.00	546.75
DS (g/cm ³):	1.35	PM	13.00	263.25
PR (mm):	1500.00	RAD	14.00	283.50
HSi (mm):	263.25			

Concepto	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Total
P (mm)	15.40	24.70	126.00	190.70	139.40	141.80	191.20	196.30	80.90	44.80	39.00	20.80	1211.00
Pi (mm)	9.72	15.58	79.49	120.30	87.94	89.45	120.62	123.84	51.04	28.26	24.60	13.12	763.96
ESC (mm)	5.68	9.12	46.51	70.40	51.46	52.35	70.58	72.46	29.86	16.54	14.40	7.68	447.04
ETP (mm)	116.80	117.84	86.00	66.72	71.28	74.96	68.24	72.72	63.60	72.16	77.76	88.00	976.08
HSi (mm)	263.25	270.13	279.12	336.41	419.86	458.66	488.55	542.06	546.75	536.49	503.58	471.16	5116.01
HD (mm)	9.72	22.46	95.35	193.46	244.55	284.87	345.92	402.64	334.54	301.50	264.93	221.03	2720.96
ETR (mm)	2.83	6.60	22.19	36.86	49.13	59.57	67.11	72.72	61.30	61.17	57.03	52.36	548.86
HSf (mm)	270.13	279.12	336.41	419.86	458.66	488.55	542.06	546.75	536.49	503.58	471.16	431.92	5284.68
DCC (mm)	276.62	267.63	210.34	126.89	88.09	58.20	4.69	0.00	10.26	43.17	75.59	114.83	1276.32
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.42	0.00	0.00	0.00	0.00	46.42
NR (mm)	390.58	378.88	274.15	156.76	110.23	73.59	5.82	0.00	12.56	54.16	96.33	150.47	1703.54

FIGURA C-1.- ANALISIS DE PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO AC-1 SANTA CLARA – METODO COOPER-JACOB.

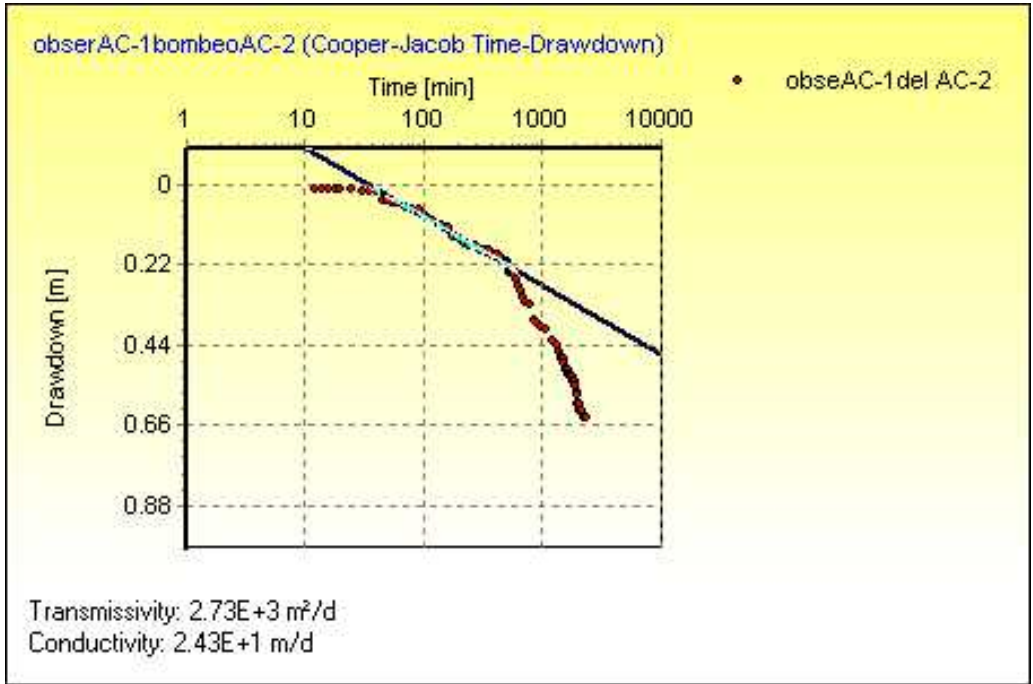


FIGURA C-2.- ANALISIS DE PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO AC-2 SANTA CLARA – METODO COOPER-JACOB.

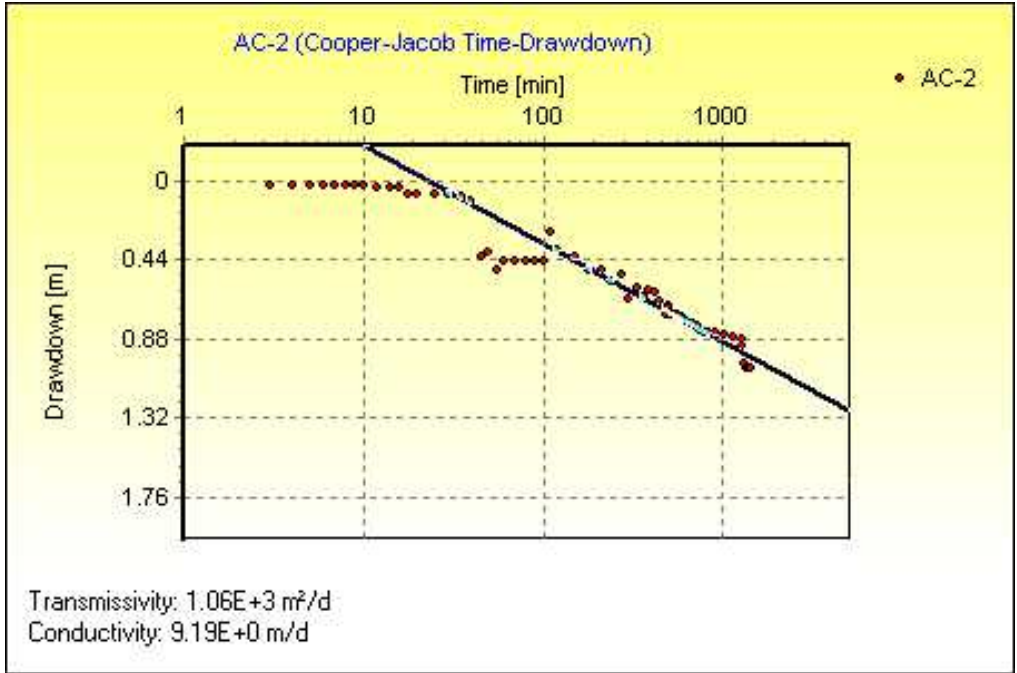


FIGURA C-3.- ANALISIS DE PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO AC-3 SANTA CLARA – METODO COOPER-JACOB.

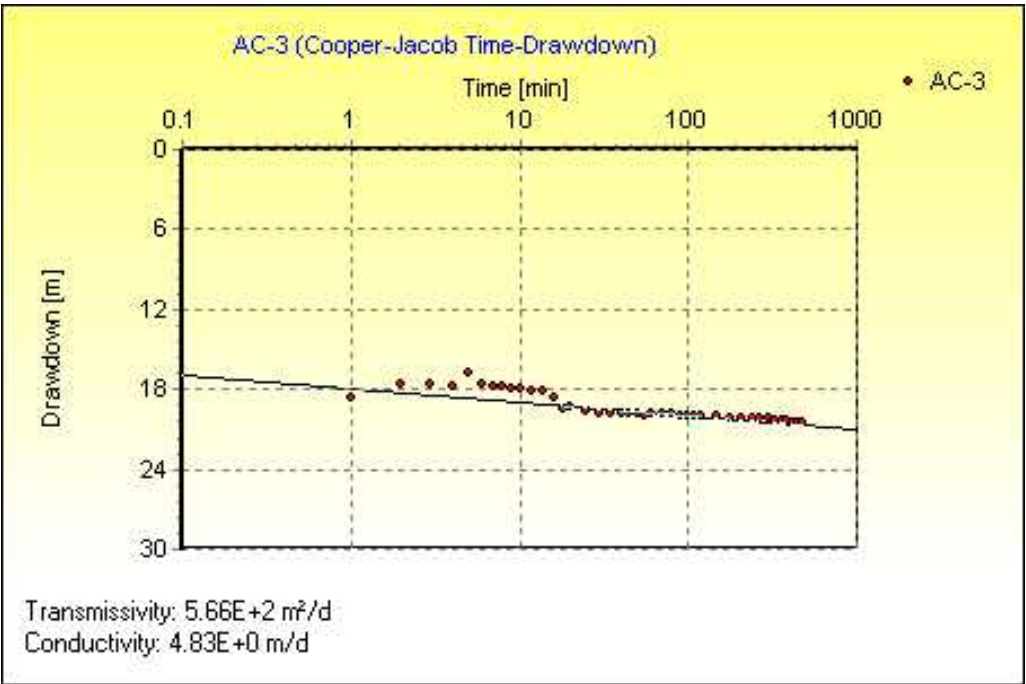


FIGURA C-4.- ANALISIS DE PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO AP-10 LLANO GRANDE – METODO COOPER-JACOB.

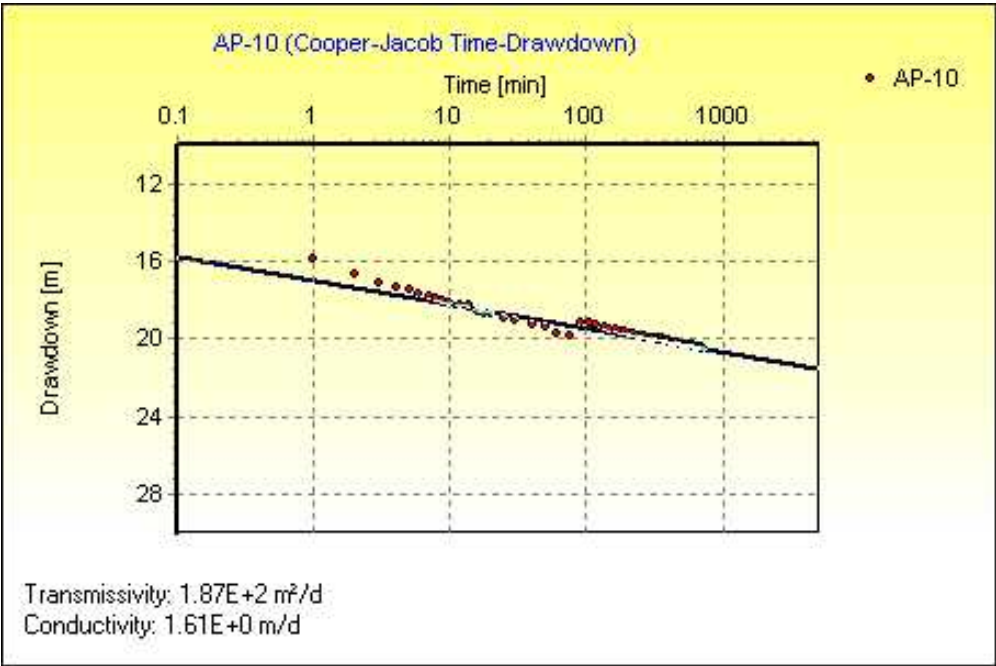


FIGURA C-5.- ANALISIS DE PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO AP-8 LLANO GRANDE – METODO COOPER-JACOB.

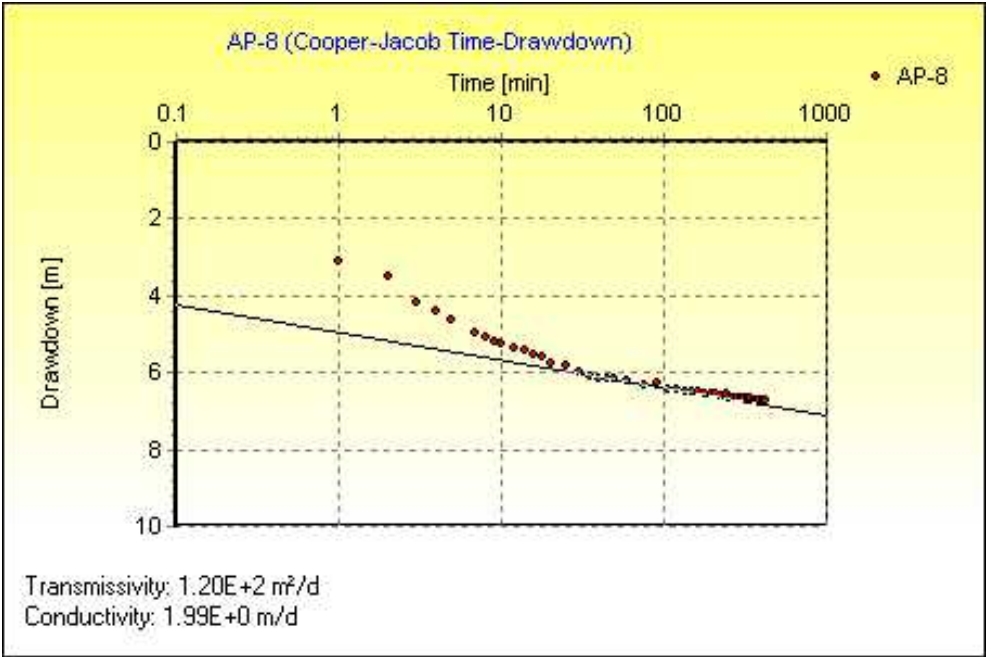


FIGURA C-6.- ANALISIS DE PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO AP-6 LLANO GRANDE – METODO COOPER-JACOB.

